Centre de recherche sur les transports (C.R.T.)
Centre for Research on Transportation
CRT-2006-05

PROTOTYPAGE D'UNE ENQUÊTE-CHARGEUR SUR LES FLUX DE DÉPLACEMENTS DE MARCHANDISES AU QUÉBEC

par

Teodor Gabriel Crainic
Michel Gendreau
Rolanda Kuncyté

Avril 2006

Université de Montréal
C.P. 6128, succursale Centre-ville, Montréal QC H3C 3J7 Canada
Téléphone : (514) 343-7575 / Télécopieur : (514) 343-7121

crt@crt.umontreal.ca
www.crt.umontreal.ca

HEC ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL Université de Montréal

PUBLICATION
CRT-2006-05

PROTOTYPAGE D'UNE ENQUÊTE-CHARGEUR SUR LES FLUX DE DÉPLACEMENTS DE MARCHANDISES AU QUÉBEC

par

Teodor Gabriel Crainic[1,3]
Michel Gendreau[1,2]
Rolanda Kuncyté[1,4]

Ce projet a été réalisé dans le cadre d'un contrat de recherche avec le ministère des Transports du Québec.

1. Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale Centre-ville, Montréal, Canada H3C 3J7 (theo,michelg@crt.umontreal.ca)
2. Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale Centre-ville, Montréal, Canada H3C 3J7
3. Département de management et technologie, École des sciences de la gestion, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Canada H3C 3P8
4. Secteur de prévention, Centre universitaire de Santé McGill, Hôpital général de Montréal, 1650, avenue Cedar, Montréal, H3G 1A4 (rolanda.kuncyte@muhc.mcgill.ca)

Département d'informatique et de recherche opérationnelle - Publication #1275

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada, 2006

106-05305/

Résumé

Ce rapport présente une revue critique des modèles et expériences de planification des transports de marchandises au niveau régional ou national à travers le monde. La présentation s'articule en trois parties : objectifs et méthodologie, résultats et synthèse. Des sections présentant une réflexion sur le transport de marchandises et la planification « nationale » ainsi qu'une discussion sur la transférabilité de certains résultats et leçons à la situation du Québec complètent le rapport.

Mots-clés : Transport multimode, multiproduit de marchandises, planification nationale, modélisation

Abstract

This report presents a critical review of models and experiences relative to the planning of multi-modal, multi-product freight transportation systems at the regional or national level. We present the objectives and methodology of the review, a detailed description of a number of major efforts undertaken in various parts of the world, and a critical synthesis and analysis. The report is completed by an overview of freight transportation and national planning, as well as by a discussion of the transferability of results and experiences to the case of Quebec.

Keywords: Multi-modal, multi-product freight transportation, national planning, modelling

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ 2

1. INTRODUCTION 4
2. TRANSPORT DES MARCHANDISES ET PLANIFICATION NATIONALE 5
3. OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE 13
4. SYNTHÈSE DE LA REVUE 15
5. APPLICATION AU CONTEXTE QUÉBÉCOIS 18
6. REVUE 21
   - SUÈDE 22
   - NORVÈGE 26
   - BELGIQUE 29
   - ROYAUME-UNI 32
   - BRÉSIL 35
   - ÉTATS UNIS 39
   - AUSTRALIE 43
   - PAYS BAS 46
   - FRANCE 49
7. BIBLIOGRAPHIE 52

1. INTRODUCTION

Ce document présente le rapport préparé par l'équipe du Centre de recherche sur les transports (CRT) relativement à la première partie du mandat que lui a confié le ministère des Transports du Québec dans le cadre du projet « Prototypage d'une enquête-chargeur sur les flux de déplacement des marchandises au Québec ». Le projet est supervisé par M. France-Serge Julien, relevant du Service de la modélisation des systèmes de transport, Direction générale des politiques et de la sécurité en transport du MTQ. L'équipe du CRT est coordonnée par le professeur Michel Gendreau, directeur du Centre de recherche sur les transports. L'équipe est composée des professeurs

- Teodor Gabriel Crainic, département Management et technologie, École des sciences de la gestion (ESG), UQÀM, titulaire de la Chaire de recherche industrielle du CRSNG en management logistique (ESG UQAM) et directeur du Laboratoire sur les Systèmes de Transport Intelligents du CRT;
- Robert Gagné, directeur de l'Institut d'économie appliquée, HEC Montréal;
- Yvon Bigras, département Management et technologie, ESG UQÀM;
- Jacques Roy, Directeur du Service de l'enseignement de la gestion des opérations et de la production et directeur du Groupe de recherche CHAÎNE (HEC Montréal).

Le mandat du CRT porte sur le volet « Modélisation » du projet. L'objectif général est de mettre à contribution l'expertise de l'équipe du CRT pour s'assurer que les résultats de l'enquête envisagée puissent être mis en valeur à travers des outils de modélisation du transport des marchandises, ce qui constitue l'objectif ultime de la démarche. Il est entendu que l'équipe du CRT sera appelée, tout au long du projet, à fournir des avis d'experts et à interagir, à travers l'équipe de projet du MTQ, avec l'autre mandataire et le Comité orienteur du projet. Le mandat vise donc à éclairer la conception de l'enquête sur certains aspects pointus de l'univers du transport des marchandises et, surtout, à s'assurer que l'enquête produise des informations qui puissent être utilement transposées dans des exercices de modélisation et possèdent, à cet égard, une structure adéquate. Le mandat s'articule autour de trois phases :

- Première phase : Revue commentée d'expériences appliquées;
- Deuxième phase : Assistance à la conception de l'enquête;
- Troisième phase : Évaluation de l'exploitabilité des données.

Ce document présente donc le rapport des travaux réalisés pour la première phase dont l'objectif général est de « se positionner, par rapport à des expériences étrangères pertinentes, sur l'état de l'art dans l'application d'outils d'aide à la planification du transport des marchandises à une échelle « régionale » et de discuter leur pertinence relativement au contexte québécois » (Projet R524.1P1, page 6). La majeure partie des travaux de cette phase a été consacrée à la réalisation de la revue critique des modèles et expériences de planification des transports de marchandises au niveau régional ou national. La présentation des résultats de cette revue constitue donc la composante prépondérante du rapport. Cette présentation s'articule en trois sections : objectifs et méthodologie (section 3), résultats, synthèse. Afin d'alléger la présentation, la section « résultats » est présentée en « deuxième » partie, après les sections qui synthé-

tisent les résultats (section 4) et les placent dans le cadre québécois (section 5). Il est important de noter que le travail a été réalisé uniquement à partir de documents librement disponibles de diverses sources officielles ou, dans de rares cas, à partir de documents fournis par les organisations à l'origine des divers projets. Le rapport est complété, dans la section 2, par une réflexion sur le transport de marchandises et la planification « nationale » afin de mieux situer les modèles et projets analysés.

2. TRANSPORT DES MARCHANDISES ET PLANIFICATION NATIONALE

Au Québec, comme ailleurs dans le monde, il existe une somme d'expériences et une expertise considérables relativement aux systèmes de transport des passagers et aux modèles et méthodes utilisés pour leur analyse et planification. C'est généralement moins le cas lorsque la planification au niveau régional, national ou international des systèmes de transport des marchandises est évoquée. L'objectif de cette section est donc de présenter quelques éléments permettant de mieux situer la problématique du transport des marchandises et de la planification à une échelle « régionale » de réseaux de transport multimodaux de marchandises (multi produits). Le but n'est pas de présenter une analyse détaillée des diverses méthodologies qui ont été proposées. Il s'agit plutôt de « réflexions » qui permettront, nous l'espérons, de mieux situer les résultats de la revue des modèles et expériences recensés. Plus de détails peuvent être trouvés dans Crainic et Florian (2005) et les références qu'on y trouve.

Il est bien connu que le développement des systèmes de transport, pour les passagers comme pour les marchandises, est une conséquence des activités économiques et sociales de la société humaine. Tel qu'illustré schématiquement dans la Figure 1, les différences spatiales entre les localisations des activités de production et de consommation des biens et de services génèrent une demande de transport. Des personnes, compagnies et organisations répondent à cette demande par une offre de transport, en termes d'infrastructures, de services, de tarifs, et ainsi de suite. L'offre de transport, à son tour, influence le développement social et économique du territoire et constitue ainsi un des éléments déclencheurs de la demande. On peut noter à ce propos que plusieurs pays ont, à différentes époques, utilisé ce levier en construisant d'importantes infrastructures de transport dans des régions dont on désirait favoriser le développement.

Les interactions entre la production et la consommation des biens et des services, ainsi que celles entre la demande et l'offre de transport qui en résultent, génèrent les flux de personnes et de biens qu'on observe sur l'infrastructure et dans les services de transport des divers modes disponibles. C'est à partir de ces flux qu'on dérive des mesures de performance du système (nombre de véhicules par heure pendant l'heure de pointe du matin ou nombre de tonnes-kilomètres réalisé pendant l'année, par exemple) et d'impact sur ses utilisateurs : temps moyen ou total de parcours, coût du transport, et ainsi de suite. Bien sûr, chaque participant du système réagit différemment devant ces mesures et ajuste son comportement, la route et le mode choisis, par exemple, en conséquence. Cela aura un impact sur le comportement des autres participants, modifiant ainsi les flux et les mesures de performance, ce qui résultera dans un nouvel ajustement, et ainsi de suite. Les flux et les mesures obtenus lors d'observations effectuées hors incidents résultent d'un « équilibre » entre les divers participants reflétant tant leur comportement général que les conditions du moment.

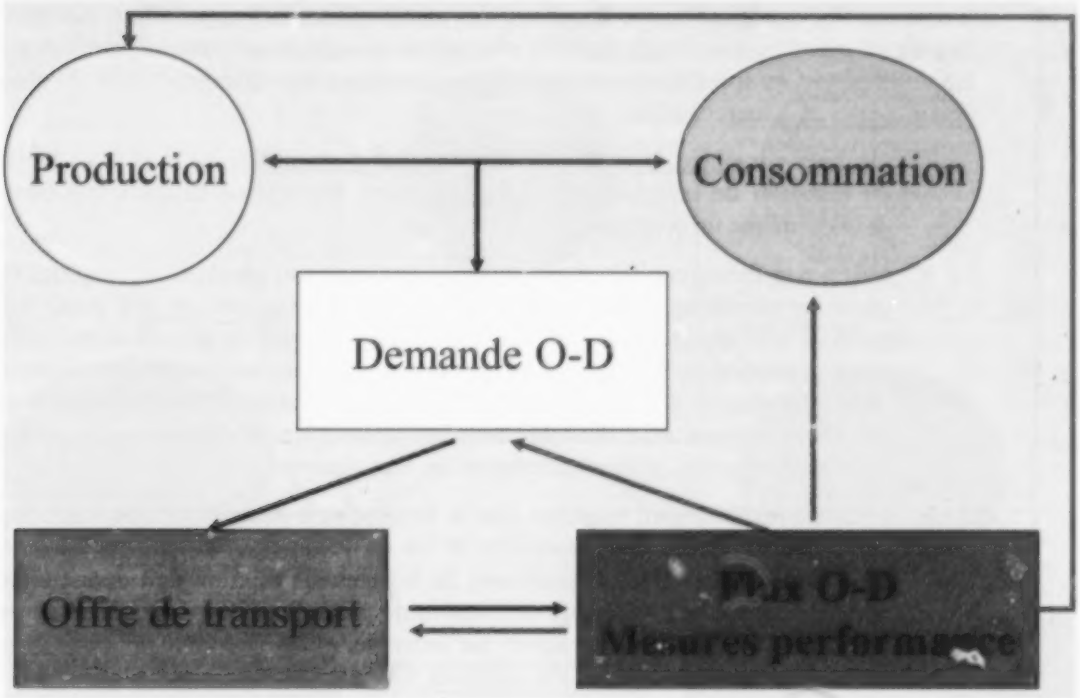

Figure 1. Relations entre transport, production et consommation

De nombreux problèmes de planification et de gestion sont associés au transport, que ce soit du point de vue des transporteurs offrant les services de transport (ainsi que certaines infrastructures : les compagnies de chemin de fer en Amérique du Nord, par exemple), des utilisateurs, passagers ou producteurs et expéditeurs de marchandises, ou encore des organismes gouvernementaux qui offrent une bonne partie des infrastructures, établissent les règles régissant l'industrie et le trafic, contrôlent et taxent. Une classification complémentaire définit les problèmes selon le niveau de planification : stratégique pour la vision à long terme et les investissements significatifs, tactique pour le moyen terme, qu'il s'agisse de la prévision des flux de voitures sur les autoroutes urbaines à l'heure de pointe ou de l'établissement de l'horaire maître des services d'un transporteur, et opérationnel, enfin, qui traite les problèmes de gestion des ressources (flottes, personnel) et de contrôle des opérations en temps différé ou réel.

La catégorie de problèmes d'intérêt pour le projet dans laquelle s'inscrit cette revue est généralement identifiée comme celle de la *planification régionale* et intéresse principalement les organismes responsables – ministères des transports ou municipalités, par exemple – ainsi que des organisations « connexes » telles les entreprises de transport en commun. Dans le cas du transport de passagers, la région correspond dans la plupart des cas à une zone urbaine, dont l'ampleur peut varier d'un quartier à l'ensemble d'une région métropolitaine. Le problème peut porter sur le transport interurbain de passagers dans une zone plus vaste, mais ces applications sont plus rares. Dans la très vaste majorité des applications « passagers », l'emphase est sur le niveau tactique de planification, la distribution des flux de voitures pendant la période de pointe, pour ne citer que l'exemple le plus représentatif et le plus répandu.

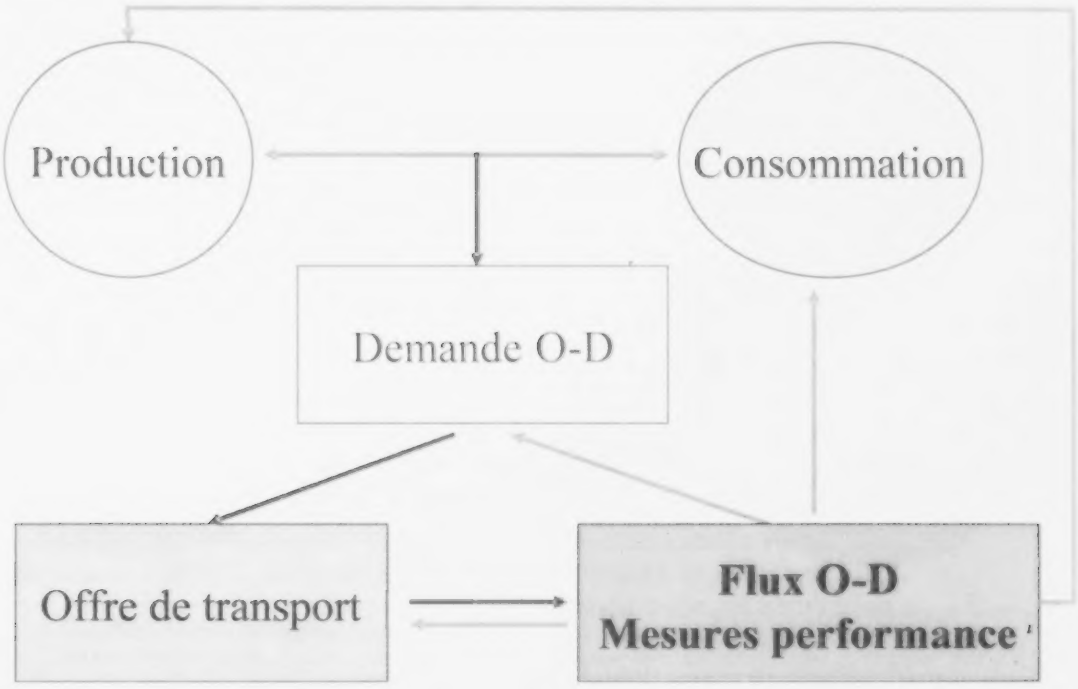

Figure 1. Relations entre transport, production et consommation

De nombreux problèmes de planification et de gestion sont associés au transport, que ce soit du point de vue des transporteurs offrant les services de transport (ainsi que certaines infrastructures : les compagnies de chemin de fer en Amérique du Nord, par exemple), des utilisateurs, passagers ou producteurs et expéditeurs de marchandises, ou encore des organismes gouvernementaux qui offrent une bonne partie des infrastructures, établissent les règles régissant l'industrie et le trafic, contrôlent et taxent. Une classification complémentaire définit les problèmes selon le niveau de planification : stratégique pour la vision à long terme et les investissements significatifs, tactique pour le moyen terme, qu'il s'agisse de la prévision des flux de voitures sur les autoroutes urbaines à l'heure de pointe ou de l'établissement de l'horaire maître des services d'un transporteur, et opérationnel, enfin, qui traite les problèmes de gestion des ressources (flottes, personnel) et de contrôle des opérations en temps différé ou réel.

La catégorie de problèmes d'intérêt pour le projet dans laquelle s'inscrit cette revue est généralement identifiée comme celle de la *planification régionale* et intéresse principalement les organismes responsables – ministères des transports ou municipalités, par exemple – ainsi que des organisations « connexes » telles les entreprises de transport en commun. Dans le cas du transport de passagers, la region correspond dans la plupart des cas à une zone urbaine, dont l'ampleur peut varier d'un quartier à l'ensemble d'une région métropolitaine. Le problème peut porter sur le transport interurbain de passagers dans une zone plus vaste, mais ces applications sont plus rares. Dans la très vaste majorité des applications « passagers », l'emphase est sur le niveau tactique de planification, la distribution des flux de voitures pendant la période de pointe, pour ne citer que l'exemple le plus représentatif et le plus répandu.

Lorsque l'objet principal est le transport des marchandises, les appellations *planification nationale* ou *planification stratégique des réseaux de transport multi modes, multi produits* sont aussi utilisées. Ces appellations soulignent quelques-unes des différences entre la planification « passagers » et « marchandises » :

- Géographiquement, la zone à l'étude est généralement beaucoup plus vaste dans le cas du transport de marchandises. La plupart des applications traitent une province, un pays ou même un continent.
- Il faut considérer explicitement plusieurs (groupes de) *produits* hétérogènes (une catégorie « produits agricoles et alimentaires solides » englobe un très grand nombre de produits très différents les uns des autres), tandis que la planification « passagers » traite généralement un seul produit – les passagers ou les voitures – considéré homogène. De plus, il y a parmi les marchandises des relations fondamentales « matières premières → produit », illustrées dans la Figure 2, qui n'existent pas dans le transport « passagers » et qui influent fortement les flux observés.
- L'aspect multi produit implique que la demande est générée par plusieurs expéditeurs avec divers niveaux de demande en terme de volumes, d'origines et de destinations. Cela veut dire que l'amplitude totale de la demande d'un produit donné à partir d'un point donné est très différente du nombre de producteurs/expéditeurs de ce produit au point en question (il peut y avoir, par exemple, plusieurs producteurs de produits alimentaires dans une ville). Cela contraste singulièrement avec la planification « passagers » où il est généralement supposé que chaque unité de demande est générée individuellement, constituant le besoin de déplacement d'une personne, ce qui implique que la demande = nombre d' « expéditeurs » = nombre d'utilisateurs du système.
- Chaque expéditeur a ses critères propres en termes de coût et de temps de déplacement, pour chacun de ses produits. De plus, l'expéditeur n'est pas seul dans la décision de comment acheminer ses produits : un ensemble d'intermédiaires (transporteurs et courtiers, principalement) interviennent de façon significative. En comparaison, on suppose que le temps moyen de parcours constitue une représentation suffisante des critères décisionnels des passagers.
- Les marchandises sont transportées par des véhicules dont la diversité reflète celle des produits et est ainsi beaucoup plus grande que celle dont on doit tenir compte dans le transport « passagers ». Cette différence est aussi présente au niveau des modes et services de transport. L'aspect *intermodal* est également beaucoup plus important en transport « marchandises » et les terminaux y occupent une place de premier plan pour le chargement, le déchargement et le transfert des marchandises (et des véhicules) d'un mode ou convoi à l'autre.
- Les périodes et horizons de planification sont généralement beaucoup plus longs pour la planification du transport des marchandises (heures ou jours sur plusieurs mois ou années) que pour les passagers (minutes sur quelques heures).

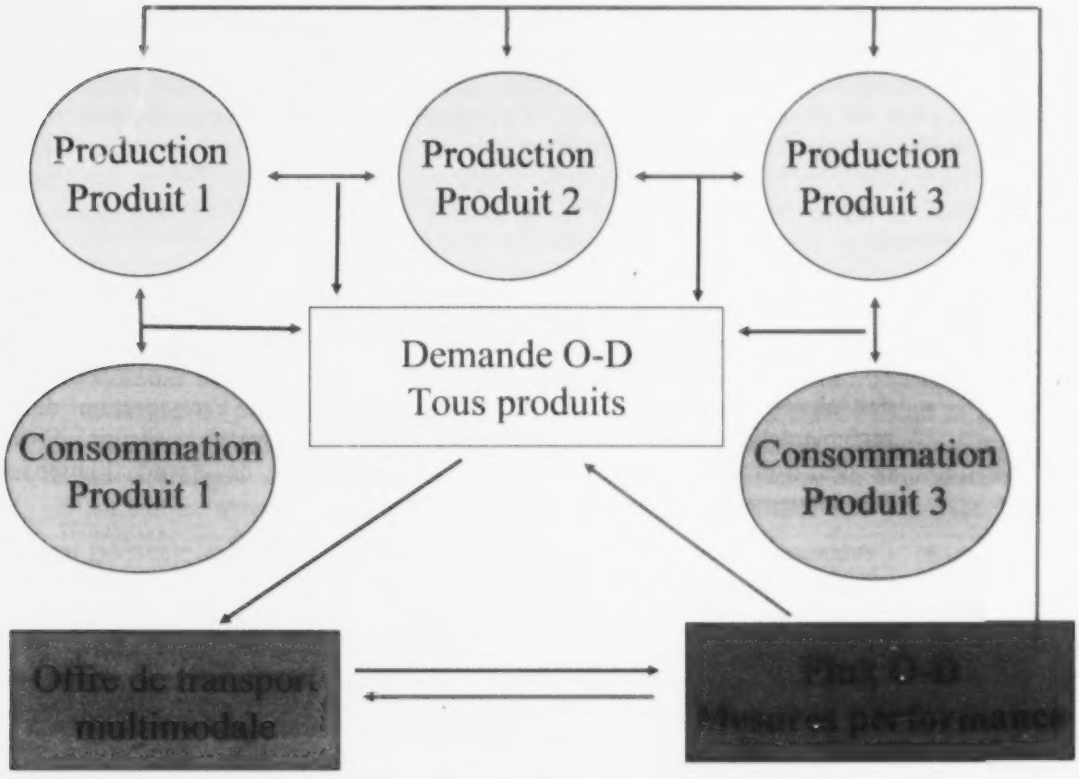

Figure 2. Relations de demande dans un système multi produits

Les approches quantitatives à la planification du transport proposent des modèles qui prédisent la demande de déplacements de passagers ou de marchandises dans une région donnée, en se basant sur les caractéristiques socio-économiques de la population, le profil industriel de la région, ainsi que sur les niveaux de service entre l'origine et la destination fournis par l'infrastructure et les services de transport. Le but de ces modèles est de prédire les origines et les destinations des déplacements, les modes utilisés et les routes empruntées, et ceci pour chaque type de passager ou catégorie de marchandise. Des méthodes économétriques et d'optimisation sont utilisées pour formuler et calibrer les modèles à l'aide de données d'enquête.

La théorie et la mise en application des modèles et des méthodes de planification régionale sont des sujets bien étudiés, particulièrement concernant les déplacements de passagers dans une zone ou une région urbaine. Les applications aux problèmes de planification des marchandises sont plus récentes. La complexité plus grande du transport des marchandises explique en partie ce retard. De l'avis général, la raison principale, cependant, est la vision traditionnelle des institutions gouvernementales qui considéraient le transport des marchandises comme une « affaire privée » dont on ne doit pas se mêler, conjuguée à la pression des citoyens électeurs des villes pour l'amélioration constante des conditions de circulation.

Cet état évolue, cependant. D'un côté, la vision des décideurs se modifie, comme en témoigne ce projet. D'un autre côté, des développements méthodologiques permettent de répondre aux

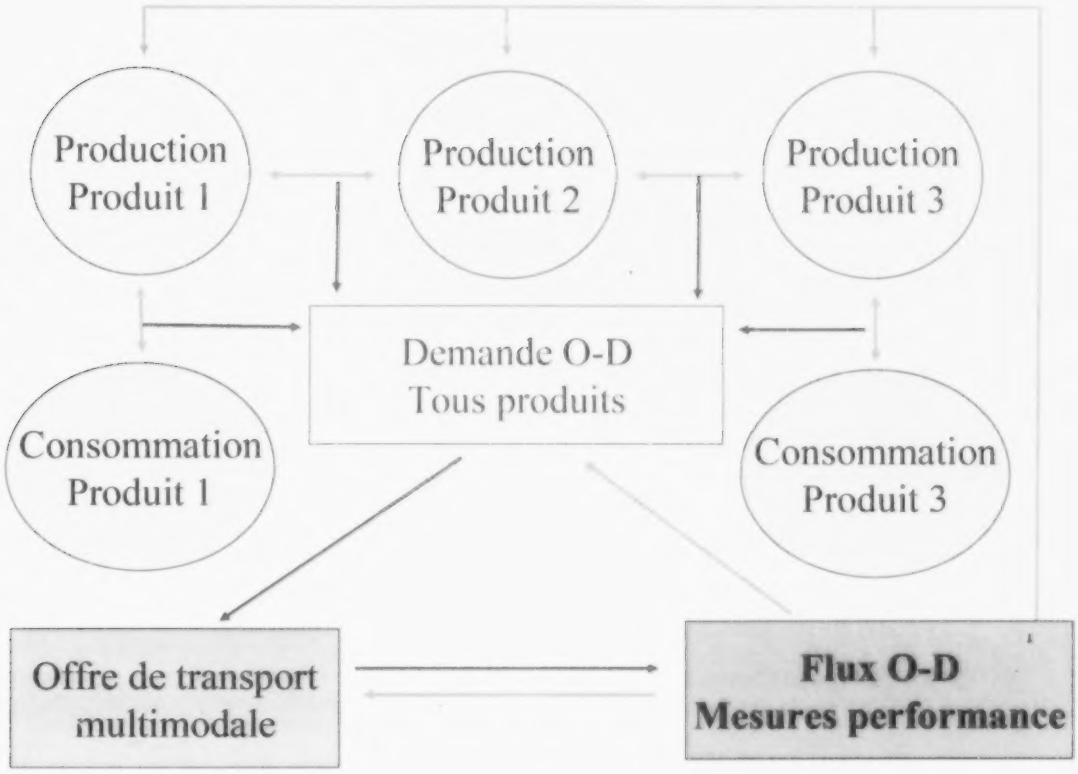

Figure 2. Relations de demande dans un système multi produits

Les approches quantitatives à la planification du transport proposent des modèles qui prédisent la demande de déplacements de passagers ou de marchandises dans une région donnée, en se basant sur les caractéristiques socio-économiques de la population, le profil industriel de la région, ainsi que sur les niveaux de service entre l'origine et la destination fournis par l'infrastructure et les services de transport. Le but de ces modèles est de prédire les origines et les destinations des déplacements, les modes utilisés et les routes empruntées, et ceci pour chaque type de passager ou catégorie de marchandise. Des méthodes économétriques et d'optimisation sont utilisées pour formuler et calibrer les modèles à l'aide de données d'enquête.

La théorie et la mise en application des modèles et des méthodes de planification régionale sont des sujets bien étudiés, particulièrement concernant les déplacements de passagers dans une zone ou une région urbaine. Les applications aux problèmes de planification des marchandises sont plus récentes. La complexité plus grande du transport des marchandises explique en partie ce retard. De l'avis général, la raison principale, cependant, est la vision traditionnelle des institutions gouvernementales qui considéraient le transport des marchandises comme une « affaire privée » dont on ne doit pas se mêler, conjuguée à la pression des citoyens électeurs des villes pour l'amélioration constante des conditions de circulation.

C'et état évolue, cependant. D'un côté, la vision des décideurs se modifie, comme en témoigne ce projet. D'un autre côté, des développements méthodologiques permettent de répondre aux

questions de planification stratégique du transport de marchandises. Ces modèles et méthodes s'appliquent à des problèmes d'envergure régionale, nationale ou internationale où sont considérés simultanément les mouvements de plusieurs produits assurés par les réseaux et les services de plusieurs transporteurs. Le niveau stratégique de planification implique une représentation « haut niveau », plutôt agrégée de la demande et des flux. On n'y détermine pas des routes détaillées, ni des horaires. Les principales questions portent sur l'évolution du système de transport et sa réponse, en termes de distribution des flux et de mesures de performance, aux diverses transformations de son environnement :

- l'évolution de l'environnement socio-économique « local » ou international qui se traduit par des modifications des schémas et des volumes de production, de consommation et de commerce;
- des changements aux politiques et lois existantes et l'instauration de nouvelles réglementations telles, par exemple, les mesures concernant la sécurité des transports et des frontières, l'entrée en vigueur du Protocole de Kyoto, l'emphase sur le développement durable;
- l'avènement de nouvelles technologies, telles les Systèmes de transport intelligents, les affaires électroniques et l'Internet;
- des fluctuations des prix et disponibilités de l'énergie;
- des modifications structurelles de l'industrie du transport : modifications aux infrastructures ou aux conditions de travail, fusions des transporteurs, abandon de service dans certaines régions, et ainsi de suite.

Ces enjeux font souvent partie intégrante des analyses coûts-avantages et des études comparatives sur des solutions de rechange en matière de politiques et d'investissement. Le processus de planification utilise des modèles afin de comparer des scénarios futurs à un scénario de référence dans le but d'obtenir des indications quant aux meilleures solutions à adopter. Il faut donc qu'une méthodologie de planification régionale « complète » représente adéquatement les éléments fondamentaux du système de transport – la demande, l'offre, les critères de décision et les mesures de performance – et leurs interactions. Une telle méthodologie vise à produire une « simulation » suffisamment précise du comportement global du système pour à la fois reproduire la situation actuelle et servir d'outil d'analyse pour une grande variété de scénarios. Ces objectifs requièrent des modèles à la fois puissants et versatiles, des procédures de résolution efficaces et robustes, ainsi que des outils de gestion et analyse des données et des résultats.

Cette démarche étant d'une portée très large, il est irréaliste de penser qu'une seule formulation ou procédure, mathématique ou autre, puisse englober tous les éléments pertinents, prendre en considération tous les enjeux importants et atteindre tous les objectifs. Par conséquent, toute méthodologie de planification proposée jusqu'à maintenant se présente comme un ensemble de modèles et de procédures. Outre les outils de manipulation des données (collecte, fusion, mise à jour, validation, etc.) et d'analyse des résultats (coûts-avantages, incidences environnementales, politiques de consommation d'énergie, etc.), les principaux éléments de cette méthodologie sont :

- La modélisation de la *demande*, qui fait état des définitions des produits, identifie les producteurs, les expéditeurs et les intermédiaires et qui représente la production, la

consommation et les volumes de distribution zone à zone (région à région) ainsi que les choix de mode de transport. Ce volet traite aussi des relations de la demande et du choix de mode par rapport à la performance des politiques économiques et à la performance du système de transport;

- La modélisation de l'*offre* qui vise à représenter les modes de transport, l'infrastructure, les transporteurs, les services et les lignes, les véhicules et les convois, les terminaux et les installations intermodales, les capacités et la congestion, les mesures et les critères en matière d'économie, de service et de performance;
- L'*affectation* des flux multiproduit (à partir du modèle de la demande) au réseau multimodal (la représentation de l'offre). Cette procédure simule le comportement du système de transport et son résultat sert de base aux analyses stratégiques et aux activités de planification. Elle spatialise les volumes de flux par produit et mode de transport, ainsi que les mesures de performance associées. Par conséquent, la méthodologie d'affectation doit être à la fois précise dans sa reproduction des situations actuelles et suffisamment générale pour produire des analyses solides fondées sur des données prévisionnelles.

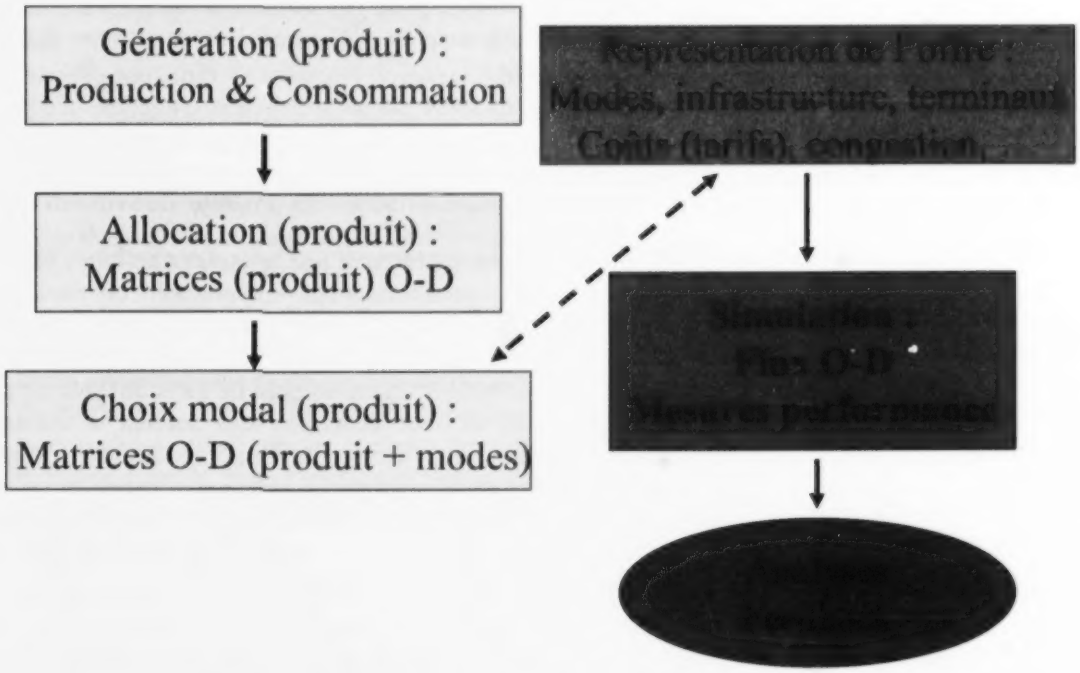

Figure 3. Le processus de planification à quatre étapes

La planification régionale procède généralement selon *le processus à quatre étapes* illustré à la Figure 3. Selon cette approche, le processus de planification part de données (courantes ou prévisionnelles) économiques, démographiques, sociales et politiques, définissent une division de la région en zones et identifient les (groupes de) produits d'intérêt. Le processus génère ensuite la demande pour chaque produit en deux phases : la *génération* des quantités totales

consommation et les volumes de distribution zone à zone (région à région) ainsi que les choix de mode de transport. Ce volet traite aussi des relations de la demande et du choix de mode par rapport à la performance des politiques économiques et à la performance du système de transport;

- La modélisation de l'*offre* qui vise à représenter les modes de transport, l'infrastructure, les transporteurs, les services et les lignes, les véhicules et les convois, les terminaux et les installations intermodales, les capacités et la congestion, les mesures et les critères en matière d'économie, de service et de performance;
- L'*affectation* des flux multiproduit (à partir du modèle de la demande) au réseau multimodal (la représentation de l'offre). Cette procédure simule le comportement du système de transport et son résultat sert de base aux analyses stratégiques et aux activités de planification. Elle spatialise les volumes de flux par produit et mode de transport, ainsi que les mesures de performance associées. Par conséquent, la méthodologie d'affectation doit être à la fois précise dans sa reproduction des situations actuelles et suffisamment générale pour produire des analyses solides fondées sur des données prévisionnelles.

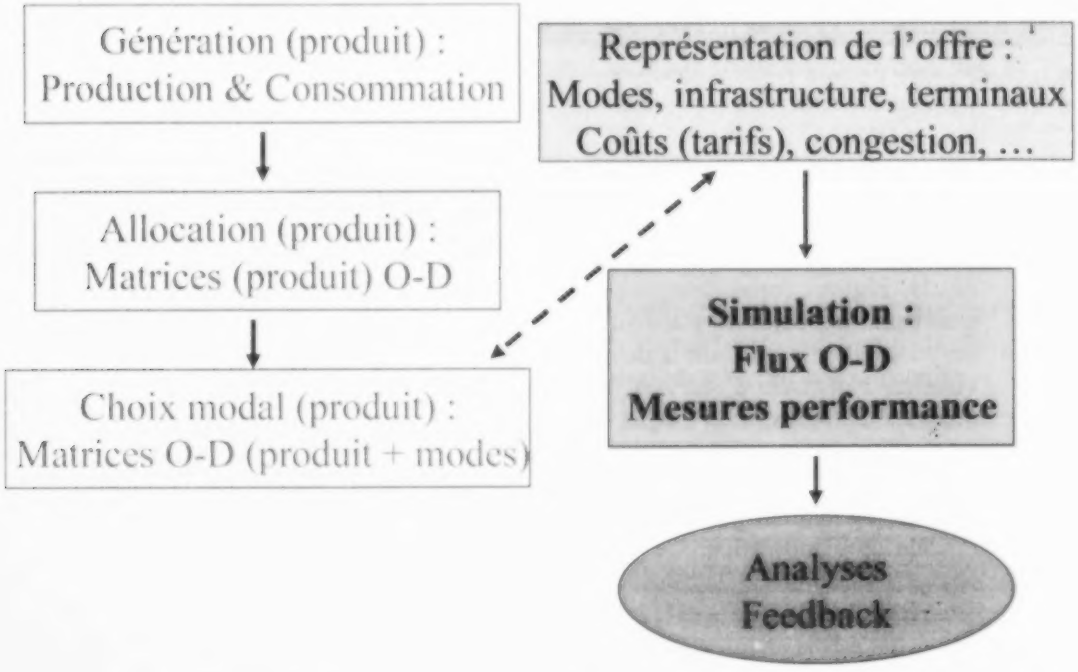

Figure 3. Le processus de planification à quatre étapes

La planification régionale procède généralement selon *le processus à quatre étapes* illustré à la Figure 3. Selon cette approche, le processus de planification part de données (courantes ou prévisionnelles) économiques, démographiques, sociales et politiques, définissent une division de la région en zones et identifient les (groupes de) produits d'intérêt. Le processus génère ensuite la demande pour chaque produit en deux phases : la *génération* des quantités totales

produites et consommées (ainsi qu'importées, exportées et traversant la région) dans chaque zone et la *distribution* de ces quantités entre les paires origines-destinations du territoire. La phase suivante consiste à déterminer le *choix modal* spécifiant pour chaque produit et paire origine-destination sur quel ensemble d'infrastructures ou de services de transport la demande pourra être déplacée. Finalement, la phase d'*affectation des flux* détermine les itinéraires utilisés pour chaque produit, paire origine-destination et choix modal, et réalise ainsi la simulation du comportement du système étant donné les paramètres du scénario à l'étude. Les deux dernières phases requièrent généralement la spécification de l'offre de transport, incluant le réseau d'infrastructures et de services qui assure les déplacements et ses attributs en termes de mesures de coût, temps, consommation d'énergie, etc. La phase d'affectation demande non seulement une définition des critères de choix de route et des mesures de performance, mais aussi des règles permettant de traduire, à l'intérieur des différents modes, les flots volumétriques de marchandises en flots « véhiculaires ».

En dépit de cette description relativement « classique » du processus de planification régionale, celui-ci est très exceptionnellement linéaire. Ainsi, par exemple, on va générer la demande courante et future pour un certain nombre de produits, ainsi qu'une représentation de l'offre actuelle de transport, pour ensuite effectuer un grand nombre d'analyses en groupant les produits et en modifiant certains paramètres de la demande ou de l'offre de transport. Il y a également les mécanismes de rétroaction qui, pour des scénarios futurs, vont modifier les paramètres de génération de la demande (incluant le choix modal) en regard des performances du système de transport dans son ensemble.

Le reste de la section est dédié à une courte revue des principales techniques proposées pour chacune de ces étapes. L'objectif ici n'est pas de faire une revue critique des modèles et logiciels, mais d'identifier les principales approches méthodologiques avec certains de leurs avantages et limitations.

La modélisation de la *demande* consiste donc à présenter une image des activités économiques de la région considérée : production, consommation, importation et exportation de marchandises, volumes y transitant. Elle a pour résultat une série de matrices dites « origine-destination » représentant la demande spécifique d'un (groupe de) produit(s) qui indiquent les volumes à déplacer d'une zone à une autre. Un certain nombre de pays ont mis au point des modèles entrée-sortie (« Input-Output ») de leur économie qui servent à déterminer la production de base et l'attraction (consommation) des produits dans chaque zone. Pour utiliser un modèle entrée-sortie, il est nécessaire de désagréger les données d'entrée et de sortie du modèle par région, puis de les désagréger encore en fonction de la subdivision zonale du modèle de planification. Ce processus est complexe et il est habituellement réalisé dans un contexte d'analyse et de calcul qui n'est pas nécessairement incorporé à celui employé pour la représentation de l'offre et le calcul des flux par produit.

Lorsqu'un modèle entrée-sortie n'est pas disponible, on procède généralement à la détermination initiale des productions et consommations des produits considérés au moyen des statistiques nationales sur la production, la consommation, les importations et les exportations que l'on conjugue à des enquêtes et études sectorielles destinées à compléter l'information manquante ou peu fiable. Ce processus peut se révéler fastidieux puisqu'il faut regrouper des données provenant de plusieurs sources qu'on recueille en utilisant différentes subdivisions géographiques ou définitions de produits non compatibles. Il est cependant utilisé fréquemment, car il est plus facilement mis en œuvre et demande moins d'efforts de cueillette

servent au calcul initial des matrices origine-destination pour chaque produit, mais sans subdivision par mode. Un bon nombre de modèles de distribution de la demande (gravité, entropie, etc.) ont été proposés et utilisés pour la planification du transport tant « passagers » que « marchandises ».

Une seconde classe de modèles étudiés pour la prédiction des flux interrégionaux de produits est formée par le modèle d'équilibre spatial et ses variantes. Cette classe de modèles détermine simultanément les flux entre les régions productrices et consommatrices, ainsi que les prix de vente et d'achat qui satisfont les conditions de l'équilibre spatial. Autrement dit, un équilibre spatial est atteint à condition que, pour toutes les paires des régions d'offre et de demande présentant un flux de marchandises positif, le prix unitaire de l'offre additionné du coût unitaire du transport soit égal au prix unitaire de la demande; la somme est plus grande que ce prix pour toutes les paires de régions sans échanges. On utilise généralement un réseau très simple pour représenter le système de transport. Ces modèles s'appuient dans une large mesure sur les fonctions d'offre et de demande des producteurs et des consommateurs, qui sont rarement disponibles et plutôt difficiles à calibrer. Il existe relativement peu d'applications de cette classe de modèles pour la détermination de la demande par produit. Les rares applications signalées dans la littérature se rapportent à des produits spécifiques qui ont une importance particulière tels que le pétrole brut, le charbon ou les produits laitiers.

Les modèles d'utilité aléatoire, qu'on a développés et largement employés pour la planification des systèmes de transport de personnes, ont aussi été considérés pour le transport de marchandises, mais leur utilisation dans des applications réelles est rare. Ce phénomène est peut-être attribuable au grand nombre de chemins qu'il est nécessaire de générer et de stocker de façon explicite, ainsi qu'à la difficulté d'exécuter cette tâche pour des données prévisionnelles. À des niveaux agrégés, on a spécifié les choix de mode pour des flux particulièrement importants de produits en relevant de manière explicite les principales chaînes logistiques utilisées entre des paires de macro-régions.

Une fois qu'on a créé des matrices modales origine-destination de quelque façon que ce soit, la phase suivante consiste à les affecter au modèle de réseau (représentation de l'offre) en utilisant un mécanisme de choix d'itinéraire. Les résultats d'un tel modèle d'affectation – les flux de produits et, éventuellement, de véhicules sur les liens modaux et à travers les installation intermodales, ainsi que les mesures de performance associées – constituent une partie des données d'entrée pour l'analyse et l'évaluation de scénarios et des relations coûts-avantages, ainsi que (à travers les mécanismes de rétroaction) pour la modélisation et l'analyse de la demande.

Le mécanisme d'affectation peut être fondé sur une application plus poussée des modèles d'utilité aléatoire au choix de chemins prédéfinis sur un réseau multimodal ou sur des modèles d'optimisation sur réseau. Il est intéressant de noter que les attributs des chemins prédéfinis sont déterminés par l'état du réseau au moment de leur génération et ne sont pas influencés par les résultats de l'affectation. Ainsi, les conditions de congestion sont très difficiles à représenter, d'autant plus qu'on doit à cet égard réconcilier des échelles temporelles différentes entre l'expression de la demande et l'expression de la capacité. En outre, les modèles d'utilité et de choix doivent être calibrés et tous les chemins doivent être générés pour chaque scénario, ce qui est assez difficile à réaliser lorsqu'on utilise des données prévisionnelles. On rencontre peu d'applications de cette méthodologie.

Les modèles d'optimisation sur réseau sont généralement considérés comme étant plus appropriés pour ce type de problèmes de planification. Ces formulations permettent la prédiction de flux multiproduits sur un réseau multimodal qui représente les installations de transport à un niveau de détail adéquat pour un pays ou une région, tout en étant relativement peu abstrait. La demande de services de transport est exogène et peut avoir pour origine un modèle entrée-sortie ou un modèle d'équilibre spatial, s'il y en a un de disponible, ou encore d'autres sources comme la demande observée ou l'ajustement de la demande observée antérieure. Le choix de mode ou les sous-ensembles de modes utilisés sont exogènes et les envois intermodaux sont autorisés. A l'intérieur du choix de mode spécifié, le moteur d'optimisation (d'affectation) détermine les meilleurs chemins multimodaux pour chaque produit et paire origine-destination, en tenant compte des mesures de performance spécifiées pour le réseau. Ces modèles peuvent aussi être intégrés dans les modèles économétriques de la demande. Soulignons que dans ces modèles d'optimisation sur réseau, l'accent est généralement mis sur :

- une représentation adéquate du réseau et de ses divers modes de transport;
- les opérations de transfert intermodal correspondantes;
- les divers critères utilisés pour déterminer le mouvement des marchandises;
- les interactions et la concurrence relatives aux ressources limitées illustrées par la représentation des effets de la congestion;
- l'estimation de la distribution du trafic sur le système de transport associée que l'on utilisera pour des études comparatives ou pour des analyses multipériodes en temps discret.

3. OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

Rappelons que, selon les termes de référence du projet, la revue commentée des modèles de planification du transport des marchandises vise

> « ...à connaître le contexte d'application d'outils de planification des transports dans les pays, états et/ou régions ayant procédé à de fines évaluations de la demande en transport sur les plans géographique et de classification de marchandises. Une attention particulière devra être portée aux sources de données et méthodes d'évaluation de la demande en transport ayant servi d'intrants à ces modèles et particulièrement à celles qui reposent sur une enquête auprès des expéditeurs. Tirer des leçons des pratiques en modélisation appliquées ailleurs dans le monde permettra d'orienter la conception de l'enquête québécoise. » (Projet R524.1P1, page 6).

Pour répondre à ces objectifs, nous avons effectué une recherche d'information large et avons utilisé la méthode du « benchmarking » pour réaliser la revue critique des modèles et projets que nous y avons trouvés. La base du benchmarking est de rechercher les meilleures pratiques et d'analyser leur application dans le contexte spécifique. Ces pratiques doivent être très bien documentées, évaluées et reconnues pour favoriser leur analyse. La recherche d'information a été réalisée à partir de trois grands bassins :

- Le premier est la collection des publications du Centre de recherche sur les transports. Les chercheurs principaux de cette étude possèdent une collection importante de publications récentes dans le domaine de modélisation des transports et leur expertise dans

ce domaine permet d'identifier les points-clés à rechercher dans la littérature. Ainsi, 32 documents ont été sélectionnés de cette collection; 6 ont été directement cités dans ce rapport, les autres ont permis de cibler les pistes de la recherche de documents et de définir les mots-clés de cette recherche.

- Le deuxième est la collection interne des publications sous format PDF du *Service de la modélisation des systèmes de transport* du MTQ. Environ 600 publications ont été révisées et parmi elles, une centaine ont été retenues pour cette étude.
- Le troisième, qui est indispensable, est l'Internet. D'abord, cet outil a permis de préciser plusieurs informations et définitions. Ensuite, il suffisait souvent de trouver une référence intéressante, à partir de laquelle la recherche d'autres publications par des mots-clés ou par les titres exacts pouvait être lancée. Il faut noter que la réalisation de ces recherches a requis de nombreuses heures parce que la revue des textes se faisait directement sur écran et conduisait vers d'autres pistes de recherche. Par exemple, pour le modèle belge, nous sommes partis de deux publications et, au bout de 8 heures de navigation et de recherche selon environ 25 mots-clés et leurs différentes combinaisons, nous avons réussi à trouver des documents permettant de décrire et d'analyser le modèle. En plus, une vérification a été effectuée pour pouvoir affirmer l'absence de documents écrits sur certains aspects du modèle à décrire.

La revue critique des publications recueillies a permis de sélectionner un certain nombre de pays pour ce rapport en fonction de la disponibilité et de la pertinence des publications sur les modèles et méthodes employés. Notons que nous n'avons recensé que les publications en anglais ou en français. Les pays dont les modèles ont été retenus pour une description détaillée sont la Suède, la Norvège, la Belgique, le Royaume-Uni et le Brésil. Nous avons estimé que les expériences décrites pour les États-Unis, l'Australie, les Pays-Bas et la France sont intéressantes, mais moins pertinentes pour le projet du Québec; nous nous limitons donc à un survol des approches entreprises dans ces pays.

L'analyse des modèles a été réalisée sous les aspects suivants, indiqués dans les termes de référence du projet (Projet R524.1P1, page 7) :

- Cadre institutionnel de planification et d'intervention;
- Éléments déclencheurs et objectifs poursuivis;
- Territoire couvert et niveau de découpage utilisé;
- Portée précise du modèle (produits et corridors ciblés) et horizon de planification;
- Ressources pour le développement et l'exploitation de l'outil;
- Méthodes d'évaluation de la demande et de cueillette des données sous-jacentes ou complémentaires à l'évaluation de la demande;
- Défis liés à la compatibilité et à l'intégration des données de sources diverses constituant des intrants aux modèles et/ou logiciels employés;
- Place avérée des outils/modèles d'analyse dans le processus de planification;
- Points forts et limites rencontrées dans l'application des outils de modélisation.

Les fiches détaillées se trouvent à la fin de ce document, dans la section 6. La section suivante synthétise les principaux résultats de cette recherche.

4. Synthèse de la revue

La revue des publications a permis de cerner un certain nombre de tendances relativement au développement de modèles de planification régionale.

On observe un nombre significatif d'efforts visant la mise en place de processus de planification régionale. La nature de ces efforts varie, mais on y retrouve une utilisation systématique de modèles pour l'estimation de la demande et des relations entre celle-ci et l'offre de transport. Lorsque ces efforts dépassent le stade de la constitution d'une banque de données, nous pouvons les diviser, de façon grossière il est vrai, en deux groupes.

Dans un premier groupe, on retrouve les projets de nature uniquement économique visant à prédire les volumes des échanges inter-régionaux pour des groupes de produits. On n'y retrouve pas de représentation de l'offre de transport ou celle-ci est réduite à sa plus simple expression. Conséquemment, le comportement du système de transport, sa réponse à des modifications du contexte social, économique et réglementaire, n'est intégré au processus d'analyse que de façon limitée, voire indirecte. Même si les études basées sur ces approches peuvent donner des indications précieuses relativement aux demandes futures en termes de capacité requise du système de transport, on n'y retrouve pas la capacité d'analyse normalement associée au processus de planification régionale.

Dans le deuxième groupe de projets, un ensemble de modèles est constitué afin de réaliser toutes les étapes du processus de planification régionale. Les modèles utilisés pour l'estimation de la demande proviennent, en général, du même ensemble restreint : modèles macro-économiques, tableaux entrée-sortie, modèles de gravité, entropie ou d'équilibre spatial (assez simples, dans ce dernier cas). Plus rarement, on retrouve des modèles d'utilité aléatoire. Quant à l'affectation, outre des procédures qui affectent simplement la demande future sur des routes utilisées historiquement, deux méthodologies sont principalement utilisées : l'utilisation des chemins générés par les modèles d'utilité aléatoire, d'un côté, et l'optimisation des flux multi-produits sur un réseau multimodes, de l'autre. La section 2 présente une brève description de ces approches, tandis que le Tableau 1 en synthétise l'utilisation dans les projets recensés. Il faut noter que, dans le Tableau 1, nous n'indiquons pour les trois phases de l'estimation de la demande que la méthode principale et ce afin d'alléger la présentation. La section 6 détaille ces informations.

C'est en Scandinavie, en Suède, Norvège, Finlande et, dans une moindre mesure, au Danemark, que le développement et l'utilisation de modèles de planification nationale se poursuivent de la façon la plus soutenue et systématique. Dans les trois premiers pays, en particulier, des modèles nationaux ont été créés et sont améliorés et utilisés de façon continue. Ces modèles utilisent diverses procédures d'estimation de la demande mais sont construits autour d'un même logiciel de planification (STAN). Il est intéressant de remarquer la concertation entre les institutions gouvernementales, les consultants et certains chercheurs universitaires. Il arrive, en fait, que certains consultants développent des banques de données et des expertises considérables qu'ils mettent à profit pour répondre aux appels d'offre des autorités nationales ou européennes. La réalisation d'un fort intéressant et important projet visant les échanges entre la Scandinavie et le reste de l'Europe a pu ainsi être assurée par un groupe de consultants

des pays scandinaves (en collaboration avec les instituts gouvernementaux, ainsi que certains autres partenaires d'Europe et du Canada).

Le Brésil a eu un développement similaire mais, jusqu'à tout récemment, l'implication des consultants était beaucoup plus limitée. Des efforts utilisant la même méthodologie mais, parfois, sur une échelle plus limitée, ont été réalisés au Mexique, en Colombie, au Royaume-Uni, en Allemagne et en Belgique, entre autres.

Une approche alternative utilise pour l'affectation les chemins générés lors de la phase de choix modal. Des projets au Royaume-Uni, aux Pays Bas, au Danemark et en Italie ont suivi cette approche. On peut observer, toutefois, que ces projets ne se sont pas traduits par des processus continus de planification. Les problèmes reliés à la calibration de tels modèles, sans mentionner le nombre extrêmement élevé de chemins qui doivent être générés et conservés, expliquent en bonne partie cet état de faits. Il faut remarquer, cependant, la contribution des modèles mis au point aux Pays Bas qui introduisent la notion de chaînes logistiques dans le processus de planification. L'utilisation qui en est faite dans l'affectation laisse à désirer, cependant. Autant l'identification des chaînes logistiques majeures peut bonifier significativement l'estimation de la demande, autant l'affectation des flux sur les « vieilles » chaînes peut conduire à des résultats erronés.

Nous observons également en Europe, surtout au sein de la Communauté Européenne, un effort d'intégration des modèles nationaux dans le cadre de modèles pan-européens. La même observation est également valable pour les bases de données : elles sont en voie d'harmonisation pour permettre la compatibilité des définitions et ainsi ouvrir la porte à des analyses plus globales.

Pour répondre aux objectifs du protocole de Kyoto concernant la diminution des émissions des gaz à effet de serre causées par le transport, la majorité des modèles européens ont commencé à analyser et à calculer les émissions polluantes en introduisant des modules supplémentaires ou en utilisant les outils déjà offerts par les logiciels utilisés. C'est un virage qui implique des prévisions d'émissions polluantes et, en conséquence, le développement de politiques de transport visant à les diminuer, telles que l'encouragement du transport intermodal et du transfert du routier vers les modes moins polluants (rail et navigation).

Une documentation exhaustive de la méthodologie des modèles ne semble pas être une pratique courante, à l'exception de la Suède. Cette absence de documentation systématique empêche de voir clairement les démarches méthodologiques entreprises au fil des ans. De plus, il semble que cette absence empêche aussi les utilisateurs des modèles de bien comprendre leur fonctionnement pour évaluer à leur juste valeur les sorties produites lors des analyses. À l'exception du modèle suédois, et partiellement du modèle norvégien, les autres modèles ne sont pas évalués systématiquement. La Grande-Bretagne a entrepris des démarches de révision de la multitude de modèles employés. Cependant, quand le modèle se trouve être la propriété d'une firme privée, l'accès à la documentation détaillée de la méthodologie est très limité, ce qui empêche son analyse.

Tableau 1. Sommaire des méthodes utilisées

Type du modèle	*Nom du modèle*	*Pays*
Génération		
Séries chronologiques +E/S	GBFM	Royaume-Uni
Entrée-sortie	SAMGODS SMILE TEM-II	Suède Pays-Bas Pays-Bas
Macro-économique	PINGO Plan de transport multimodal interurbain de marchandises de la région wallonne –	Norvège Belgique Brésil
Distribution		
Entropie	SAMGODS	Suède
Gravité	SMILE Plan de transport multimodal interurbain de marchandises de la région wallonne	Pays-Bas Belgique
Équilibre spatial	PINGO	Norvège
Répartition modale		
Utilité aléatoire	– SMILE GBFM	Italie Pays-Bas Royaume-Uni
Affectation sur réseau multimodal	SAMGODS NEMO – Plan de transport multimodal interurbain de marchandises de la région wallonne	Suède Norvège Brésil Belgique
Affectation		
Utilité aléatoire	– SMILE GBFM	Italie Pays-Bas Royaume-Uni
Optimisation multi-produit sur réseau multi-modal	SAMGODS NEMO – Plan de transport multimodal interurbain de marchandises de la région wallonne	Suède Norvège Brésil Belgique

Les données nécessaires pour les modèles posent souvent des problèmes autant pour leur collecte que pour l'harmonisation des définitions quand les données proviennent de sources différentes. Toutes les approches de planification régionale demandent des données concernant l'ensemble des composantes du système, autant au niveau de la demande qu'à celui de l'offre de transport. Les méthodes utilisées pour cueillir et traiter l'information nécessaire diffèrent d'un pays à l'autre. On retrouve, cependant, un nombre d'éléments communs dont l'utilisation d'enquêtes globales ou partielles auprès des transporteurs et expéditeurs (et de leurs associations), combinée à diverses données socio-économiques détenues par divers organismes publics (et parfois privés). Deux éléments méritent d'être mentionnés. Premièrement, il n'est pas nécessaire d'attendre d'avoir l'information complète et « parfaite ». On peut commencer avec un ensemble restreint de données et l'améliorer de façon incrémentale et continue (ceci s'applique tout particulièrement à la demande et aux mesures de performance, les « coûts » par exemple, des transporteurs). Deuxièmement, une fois le premier ensemble de données assemblé, il est profitable de l'améliorer plutôt que d'être obligé de reprendre le processus à zéro lors de la prochaine phase de planification.

Les approches de collecte de données par enquêtes divergent dans la définition de l'unité d'échantillonnage : « suivi de marchandise » ou « suivi de véhicule » comme dans l'enquête française, ou bien échantillon d'entreprises et ensuite échantillon de déplacements réalisés pendant une certaine période du temps par cette entreprise comme cela se fait aux États-Unis, au Royaume-Uni, en Suède et en Australie. Il semble qu'en « suivant la marchandise » plutôt que « le véhicule », on peut éviter l'erreur de double comptage. Il apparaît, toutefois, qu'une combinaison de ces deux approches, en faisant attention aux phénomènes de comptage multiple, permettrait de bâtir un tableau plus complet et fidèle de la situation.

5. Application au contexte québécois

Chaque expérience est propre au pays qui l'a initiée. Son déroulement et son succès même dépendent en bonne partie de caractéristiques sociales et politiques locales, ainsi que des « traditions » de planification de la région ou du pays initiateur. Il y a cependant beaucoup d'expériences et d'expertises qui passent avec bonheur d'un contexte d'application à l'autre, ainsi que démontré par l'utilisation de méthodologies semblables ou, même, d'un même logiciel dans des cas aussi différents que le Brésil, la Suède et l'Europe. Sans vouloir minimiser l'ampleur du travail à accomplir, et ce à tous les niveaux, on ne voit pas pourquoi le Québec ne pourrait mettre sur pied son propre processus d'analyse et de planification à l'échelle de son territoire et en relation avec les provinces et états limitrophes.

Au niveau du réseau, comme du climat, le Québec ressemble le plus au cas suédois. Géographiquement, le Québec et la Suède possèdent un réseau très concentré au sud du territoire où il y a d'intenses activités économiques et d'importants mouvements de personnes et de marchandises. Les deux pays ont des échanges internationaux intenses et servent de « passerelle » de transit à d'importants flux de marchandises. La Suède a commencé avec une représentation relativement simple de son système, représentation qui est ou sera enrichie. Il faut, bien sûr, construire une image des données déjà existantes et de celles qui pourraient être obtenues plus ou moins « facilement » au Québec, puis identifier un ensemble de questions dont l'étude apparaît pertinente et prioritaire. Cela dirigera le processus de conception de construction du modèle et de cueillette de données.

Le Québec bénéficie d'un ensemble de ressources, au sein du ministère des Transports, chez certains consultants et dans les universités, qui pourraient faciliter ce processus. Cela est vrai même au niveau des logiciels de planification. Ainsi, par exemple, STAN, un des logiciels les mieux documentés et qui a fait ses preuves dans différents pays, est développé et distribué à partir de Montréal et une base de compétences solide est disponible tant pour la formation que pour supporter la mise sur pied d'un modèle québécois.

En ce qui concerne les enquêtes visant à recueillir les données nécessaires pour nourrir ce processus de planification, il faut tout d'abord souligner que la revue de la littérature et des expériences ne permet pas de conclure de façon définitive sur la supériorité d'un type d'enquête relativement à un autre. Il est clair, cependant, que des enquêtes « au bord de la rue » ne suffisent pas à assurer les informations nécessaires à un processus de planification tel celui envisagé par le Ministère. L'information ainsi colligée permet de mettre à jour certains types d'information (des flux origine-destination, par exemple), mais n'est pas suffisante pour bâtir un modèle national. Les enquêtes auprès des transporteurs permettent d'obtenir des renseignements concernant une bonne partie des acheminements et des critères qui les déterminent. Ce type d'enquête ne permet pas, cependant, d'obtenir des renseignements sur la demande initiale, ni sur les choix modaux des expéditeurs, ni sur les chaînes logistiques utilisées (ou envisagées) dans les divers secteurs économiques.

Les enquêtes auprès des chargeurs évitent la plupart de ces problèmes. Elles permettent d'obtenir de l'information sur la demande par produit autant au niveau de la production (ce que l'expéditeur produit ou désire transporter globalement) qu'à celui de la consommation (les intrants requis pour la production), et, chose extrêmement importante, cette information est fournie par paire origine-destination (les destinations des envois) – en termes de quantités, fréquences d'expédition, critères de décision (coût et temps total de livraison, par exemple), choix modal, chaîne logistique pour l'approvisionnement et la distribution, etc. Ce type d'enquête semble donc bien approprié aux processus de planification et d'analyse, ainsi qu'aux approches de modélisation, envisagés par le Ministère.

Ces enquêtes n'offrent pas beaucoup d'information sur le fonctionnement des transporteurs, ni sur celui des gestionnaires d'installation de transfert intermodal, ni sur celui des autres intervenants dans le choix et l'exploitation des acheminements de marchandises (les courtiers et autres « third- » et « fourth-party logistics providers »). Consulter ces intervenants, individuellement ou à travers les associations professionnelles, permettait de recueillir de l'information concernant l'état des flottes de véhicules, la consommation d'énergie, la structure des réseaux de consolidation, ainsi que certaines informations très générales relatives aux temps et coûts d'opération (mais il ne faut pas se faire d'illusions sur la divulgation des coûts; on peut toutefois espérer obtenir des ordres de grandeur et des proportions). Cette consultation pourrait également contribuer à bâtir la base de données relative aux flux de transit. De façon similaire, consulter les associations professionnelles des acteurs économiques (producteurs, distributeurs, etc.) permettrait d'enrichir la connaissance relative aux chaînes logistiques.

Il faut évidement éviter le double comptage, mais un effort plus large qui cible les divers intervenants (producteurs, expéditeurs, intermédiaires, transporteurs, etc.) pourrait produire un résultat plus riche. Il serait également opportun de concevoir une approche systématique, mais incrémentale, de la construction de la base de données afin de répartir les investissements et les efforts tout en rencontrant les objectifs d'étude. A cet égard, il sera essentiel de pouvoir

identifier les besoins des diverses directions du Ministère et, éventuellement, d'autres ministères ou agences. Cette approche incrémentale a été utilisée avec succès ailleurs dans le monde.

Les termes de référence demandaient d' « examiner la problématique de l'évaluation des « fonctions de coût », dont on peut se demander, compte tenu de la complexité de la réalité, jusqu'à quel point on pourra espérer les connaître et les traduire dans un processus de modélisation » (Projet R524.1P, page7). Cette problématique est évidement présente dans tout projet visant la planification nationale. Elle n'est cependant que très rarement évoquée dans les articles ou rapports disponibles. L'expertise de l'équipe du CRT nous permet cependant de formuler certaines réflexions.

Il faut noter, tout d'abord, que le rôle des « fonctions de coût » dans un modèle de prévision de la demande ou d'affectation est de permettre une évaluation du comportement global du système. De plus, au niveau « stratégique » de planification, le territoire est divisé en zones de généralement grandes dimensions et les principaux acteurs présents dans chaque zone – producteurs, consommateurs, expéditeurs, transporteurs, etc. – sont agrégés, ainsi que la demande correspondante. Il ne s'agit donc pas de reproduire de façon exacte les décisions individuelles de tous les acteurs, ni d'essayer de reproduire les critères de décision de chaque entreprise ou individus oeuvrant dans le territoire considéré.

Il faut donc développer des fonctions qui, étant donnée la spécification – la modélisation et l'évaluation – de la demande et de l'offre de transport sur le territoire (réseau) considéré, ainsi qu'un choix de critère d'évaluation des alternatives de transport (coûts, temps, consommation d'énergie ou impact environnemental, par exemple), permettent de refléter le comportement global du système en termes d'utilisation des infrastructures et services de transports inclus dans le modèle. Ainsi, dans une étape de simulation-affectation basée sur un critère de temps de transport, il faut s'assurer que les temps calculés pour les divers itinéraires possibles pour le déplacement de la marchandise reflètent correctement les caractéristiques physiques des infrastructures et véhicules, les vitesses permises corrigées pour la congestion, ainsi que, éventuellement, les temps requis par les transferts intermodaux. À ce niveau, il est donc plus important que les différences relatives entre les diverses alternatives soient correctement estimées, plutôt que d'obtenir une description très précise pour un mode au détriment des autres.

Ces considérations simplifient le problème de bâtir ces « fonctions de coût ». Des chiffres « moyens » pour chaque type de transporteur par type (qualité) d'infrastructure (et zone, éventuellement) sont généralement suffisants et ils peuvent être obtenus plus facilement que des résultats particuliers pour chaque entreprise (parmi les sources possibles, mentionnons des rapports annuels d'activité, des statistiques nationales ou régionales, des enquêtes, etc.). On peut trouver, en fait, une certaine expertise concernant les diverses formes fonctionnelles utilisées et utilisables. Il est aussi possible, et même souhaitable, de faire évoluer ces fonctions au gré de l'enrichissement des bases de données et de l'ampleur des études. Nous désirons mettre l'emphase, cependant, sur le besoin de développer des fonctions homogènes en termes de détail pour les produits et modes de transport inclus dans l'étude. Ceci assurera la cohérence des résultats et analyses.

Avec un bon modèle de planification régionale des flux de marchandises, il deviendrait possible d'aborder de façon beaucoup plus efficace et pertinente bon nombre de questions d'importance pour le Québec, à commencer par les analyses qui s'imposent dans le contexte

des problématiques reliées aux impacts environnementaux des transports et au Protocole de Kyoto, aux politiques de développement durable, aux questions de sécurité, tant au frontières que sur le réseau québécois, ainsi qu'au développement des systèmes de transport intelligent et à leurs relations avec les chaînes logistiques.

6. REVUE

Cette section présente les fiches décrivant les principaux modèles et expériences de planification régionale selon la documentation trouvée lors de la recherche bibliographique. Les fiches sont présentées par pays et identifient dans chaque cas (en autant que la documentation le permet) :

- Le nom du modèle;
- Le cadre institutionnel de planification et d'intervention;
- Les éléments déclencheurs et les objectifs poursuivis;
- Le territoire couvert et le niveau de découpage utilisé;
- La portée du modèle (produits et corridors ciblés) et l'horizon de planification;
- Les ressources affectées au développement et à 'exploitation de l'outil;
- Les méthodes d'évaluation de la demande et de cueillette des données sous-jacentes ou complémentaires à l'évaluation de la demande;
- Les défis liés à la compatibilité et à l'intégration des données de sources diverses constituant des intrants aux modèles ou logiciels employés;
- La place avérée des outils et modèles d'analyse dans le processus de planification;
- Les points forts et les limites rencontrées dans l'application des outils de modélisation et d'analyse.

SUÈDE

SAMGODS est le modèle suédois pour la planification nationale du transport des marchandises et ***SAMPERS*** son pendant pour le transport des personnes. Ces deux modèles sont étroitement liés à la fois dans leur développement et dans leur utilisation. Dans le cadre de ce rapport, seul le modèle SAMGODS est retenu pour analyse et discussion.

Le développement de SAMGODS est sous la responsabilité d'un consortium constitué de plusieurs agences de l'état suédois:

- SIKA : Swedish Institute of Transport and Communications;
- Swedish National Rail Administration;
- Swedish National Road Administration;
- Swedish Maritime Administration;
- Swedish Civil Aviation Administration;
- Swedish Communication Research Board.

Les publications révisées ne donnent pas de détails sur les ressources allouées pour la gestion et le développement du modèle SAMGODS. Cependant, il ressort que le SIKA est l'organisme le plus impliqué dans le développement, la gestion et l'utilisation du modèle, ainsi que dans la coordination des membres du consortium et autres instances gouvernementales. L'équipe de recherche du CRT sait que le nombre de personnes directement affectées par le SIKA au développement et aux analyses du modèle est très limité : de deux à trois personnes sur une base régulière. Il y a cependant en Suède, comme dans les autres pays scandinaves et, plus généralement en Europe, un certain nombre de consultants qui utilisent les mêmes logiciels et qui réalisent une bonne partie des études.

Deux grands objectifs sont visés par SAMGODS. Tout d'abord, SAMGODS est le système retenu pour la planification stratégique des infrastructures de tous les modes de transport. Un horizon de planification de 10 ans est utilisé. Cette planification doit tenir compte de plusieurs aspects de politique des transports, tels que les taxes liées au transport, les paiements, les subventions, etc. Le second objectif de SAMGODS, qui n'est pas moins complexe que le premier, est son utilisation dans le processus d'élaboration et d'analyse des politiques des transports au niveau national (et, idéalement, régional) et pour la contribution de la Suède aux analyses de politiques des transports au niveau de la Communauté Européenne (CE).

Cependant, lors d'une évaluation de l'utilisation du modèle SAMGODS en 2003, il s'est avéré que le modèle a surtout été utilisé par SIKA pour la planification des infrastructures au niveau national et pour certaines analyses de politiques de transport à l'échelle de la CE (« Eurovignette project »). Les autres membres du consortium, tout en participant à des réunions de coordination et planification, ont moins utilisé le modèle. Ainsi, par exemple, les administrations des routes et du rail ont demandé l'estimation des facteurs de croissance de la demande et l'administration du transport maritime a analysé à quelques reprises la distribution comparée des flux entre les modes du transport lors de l'application de certaines politiques ou d'interventions au niveau des infrastructures. Les analyses du trafic pour les projets d'infrastructure ou politiques ne semblent pas avoir été demandés par les agences.

L'administration de l'aviation civile n'a jamais utilisé ce modèle, mais ceci n'est pas surprenant, car le mode aérien n'y a été introduit que très récemment.

Le territoire de la Suède a été découpé en zones selon la définition des municipalités. La stratégie de découpage zonale des régions hors Suède repose sur leur éloignement par rapport à la Suède : plus le territoire est proche, plus le nombre des zones augmente. Ainsi, SAMGODS comprend 462 zones qui se divisent comme suit :

- Le territoire suédois est divisé en 289 municipalités;
- Les pays scandinaves les plus proches (Norvège, Finlande et Danemark) sont représentés par 52 zones;
- Le reste de la CE est représenté par 97 zones;
- L'extérieur de la CE est représenté par 25 zones.

L'horizon de planification le plus court est de 4 ans (en Suède, le plan national du transport est révisé aux 4 ans pour le mettre à jour par rapport aux allocations du budget national qui est approuvé pour les périodes de 4 ans) et le plus long de 10 ans pour les plans d'infrastructure qui se font en Suède systématiquement aux dix ans. Cet horizon de 10 ans a été remis en question récemment, car il pose des problèmes au niveau budgétaire : il est très difficile de prévoir si les besoins financiers du plan de 10 ans pourront être respectés.

Le modèle de demande du transport des marchandises repose sur cinq sous-modèles différents :

a) Le système multi-sectoriel de modèles de l'économie suédoise ISMOD;
b) Le modèle pour la désagrégation régionale des emplois par secteur d'activité EARLY, relié à ISMOD;
c) Le modèle VTI/TPR pour la modélisation de la demande de transport inter-régional à l'intérieur de la Suède;
d) Le modèle pour la prévision au niveau régional des impacts du commerce extérieur de la Suède;
e) Les modèles pour la prévision de la valeur (« implicite » ou marginale) de groupes (agrégations) de produits.

Dans SAMGODS, la demande au niveau national est prédite en utilisant le modèle ISMOD qui met en œuvre une méthodologie d'équilibre généralisé basée sur des tableaux de coefficients entrée-sortie. Le modèle calcule des prévisions de la production, de l'importation, de l'exportation et des « intrants » pour la production et la consommation. La prévision est faite en unités monétaires pour 31 secteurs industriels différents. La faiblesse d'ISMOD est qu'il opère avec des secteurs industriels et non avec des groupes de produits (RAND Europe, 2002).

Ensuite, EARLY est appliqué pour prévoir les changements régionaux en production par secteur. Ces changements sont déterminés sur la base des changements projetés par ISMOD des niveaux d'emploi par région. EARLY est implanté dans le logiciel Excel.

Le modèle de distribution VTI/TPR estime les matrices de demande origine-destination pour les (groupes) de produits sélectionnés. C'est un modèle basé sur le principe d'entropie. Il part

des matrices de l'année de base, estimées de façon empirique, des flux interzones intérieurs et de commerce international, ainsi que des prix marginaux des groupes de produits.

Selon RAND Europe (2002), la faiblesse de cette approche réside dans le fait que les « patterns » régionaux pour l'année de base des flux du transport sont maintenus pour l'année de prévision et que ces « patterns » sont basés sur des données du début des années '80.

Une nouvelle année de base, 2001, a été définie récemment. La demande de la nouvelle année de base est constituée à partir des résultats provenant du Commodity Flow Survey (2001) réalisé pendant cette année, ainsi que des statistiques du transport et du commerce extérieur (la même procédure avait été utilisée pour la précédente année de base). Il s'agit de matrices origine-destination dans le premier cas et de totaux des importations et exportations dans le second. Ces dernières statistiques sont ensuite régionalisées pour obtenir les niveaux de consommation et de production, respectivement, par zone. Pour le transport aérien, les données pour les matrices de l'année de base proviennent de statistiques du commerce extérieur sur les marchandises qui ont traversé la frontière suédoise en 2000. Ces statistiques sont divisées par mode de transport de ces marchandises. Des données supplémentaires ont été fournies par la Swedish Civil Aviation Administration. Les activités de transit étaient très mal représentées dans la version 1999 de SAMGODS. Pour remédier à ce problème, les données provenant du projet FRISBEE de la CE et les données d'autres statistiques nationales seront introduites.

Le logiciel STAN est utilisé pour représenter l'offre de transport et réaliser la simulation de la distribution des flux entre les modes, services et terminaux du système de transport (phase d'affectation). Dans la version actuelle de SAMGODS, le modèle développé sous STAN a été défini pour 15 produits et 13 modes de transport (SIKA 2004). STAN apparaît dans plusieurs fiches. Nous n'en faisons qu'une brève description incluse dans la fiche de la Suède.

Le cadre de modélisation de STAN (Crainic et Florian 2005) est celui d'un réseau multimodal, constitué de modes, de noeuds, de liens et de transferts intermodaux, sur lequel de multiples produits doivent être déplacés par des véhicules et des convois spécifiques entre des points d'origine et de destination donnés. Un mode dans STAN est un moyen de transport qui possède ses propres caractéristiques, telles que le type de véhicule et la capacité, ainsi que ses mesures de coût spécifiques. Selon la portée et le niveau de détail de l'étude stratégique, un mode peut représenter un transporteur ou une portion de son réseau correspondant à un service de transport particulier, une agrégation de plusieurs réseaux de transporteurs ou des infrastructures de transport spécifiques comme des réseaux d'autoroutes ou des ports. Chaque lien supporte un seul mode. Des liens parallèles sont utilisés pour représenter les situations où il y a plus d'un mode disponible pour transporter les marchandises entre deux nœuds adjacents. Des transferts lien à lien, donc mode à mode, sont définis à certains nœuds du réseau pour modéliser les activités des installations intermodales de transfert, calculer les coûts et retards associés, et ainsi pouvoir représenter les envois intermodaux. Cette représentation en réseau permet une détermination du flux de marchandises par mode, ainsi que les diverses fonctions de coût représentant par produit et par mode des coûts d'exploitation, de retard, de consommation d'énergie, d'émissions de substances nocives ou de bruit, et ainsi de suite.

Dans STAN, on entend par produit toute marchandise ou tout passager (ou collection de produits similaires) qui génère un flux sur les liens. La demande pour chaque produit pour toutes les paires origine-destination est exogène et est spécifiée par un ensemble de matrices O-D. Le choix de mode pour chaque produit est lui aussi exogène et on l'indique en définissant pour

chaque matrice O-D un sous-ensemble de modes alloués pour le transport de la demande correspondante. Cette représentation tient compte de la restriction des flux de certains produits à des sous-ensembles de modes et on suppose qu'elle reflète le comportement des expéditeurs. La simulation de la distribution de cette demande sur le réseau se fait par un modèle d'optimisation (non linéaire) de flux multimodes, multiproduits relativement à une fonction de coût généralisé. L'algorithme permet de résoudre des problèmes à grande échelle dans des temps de calcul raisonnables.

STAN offre de plus un grand nombre d'outils permettant la saisie, l'affichage, l'analyse, la modification et la sortie des données; la spécification des modèles de choix de mode et de demande ainsi que de réseau et d'affectation; l'analyse des flux, des coûts et des chemins des marchandises; la mise en œuvre de modèles d'analyse de performance du réseau ou de divers modes ou composantes. STAN a été crée au Centre de recherche sur les transports (Université de Montréal). Son développement continu et sa mise en marché sont assurés par Les Consultants INRO, Inc. de Montréal.

Références

1. SIKA. 2001. *The Swedish Model System for Goods Transport – SAMGODS a brief introductory overview.* SAMPLAN Rapport 2001:1.
2. SIKA 2004. *The Swedish National Freight Model a critical review and an outline of the way ahead.* SAMPLAN 2004:1.
3. SIKA 2003. *Commodity Flow Survey 2001.* SIKA Report 2003:4
4. De Jong, G., W. Walker. *RAND Europe's Experience with Freight Transport Models.* Conference on national and International Freight Transport Models. 21p.
5. RAND Europe. 2002. *Review of Freight Modeling.* Report B2 – Review of Models in Continental Europe and Elsewhere. 78p.
6. Daly, A., P. Sillaparcharn. 2004. *National Traffic Forecasting Models in Europe and Elsewhere.* Workshop on Developing a View of the Future in Transport: What Role for the JTRC?
7. Ravlum, I-A., H. Lauridsen. 2001. *National Transport Planning in Norway and Sweden - A comparison.* Institute of Transport Economics (TØI). Report of 59 pages in Norwegian, summary of 5 pages in English, Oslo, 2001.
8. Lauridsen, H. 2000. *Strategic Transport Planning and Evaluation: The Scandinavian Experience.* TRANS-TALK Policy and Project Evaluation, Workshop on Projects, Programs and Policies: Evaluation Needs and Capabilities. Brussels, November 6-8, 2000.
9. Crainic, T.G., Florian, M. 2005. Modèles d'optimisation pour la planification des systèmes de transport, dans *Optimisation combinatoire : applications*, V. Th. Paschos (éditeur), Hermès, France (à paraître).

NORVÈGE

En Norvège, les modèles pour la planification du transport intérieur et international des marchandises sont:

- **NEMO (NEtwork MOdel)** : pour la représentation du réseau de transport routier, ferroviaire et maritime (incluant les traversiers) des marchandises à l'intérieur comme à l'extérieur du pays, ainsi que pour la mise en œuvre de la phase affectation du processus;
- **PINGO (Prediction of InterreGiOnal freight transport flows between and within regions)** : pour l'estimation de la demande.

Les modèles NEMO et PINGO ont été développés entre 1995 et 1997 et entre 2001 et 2002, respectivement, par l'Institute of Transport Economics (TØI) en coopération avec INTEF/MARINTEK à l'intention :

- du Ministère des Transports et des Communications,
- de l'Administration norvégienne des routes (Norwegian Public Road Administration),
- des Chemins de fer d'état de Norvège (Norwegian State Railways),
- du Ministère des Pêches (Norwegian Ministry of Fisheries),
- du Directorat de la garde côtière (Norvegian Coast Directorate),

pour faire l'analyse et la planification stratégique du transport des marchandises en Norvège.

Selon Kleven (2003), avant 1999, les quatre organismes responsables des différents modes de transport (Norwegian Public Road Administration, Norwegian Railway Administration, Norwegian Civil Air Administration et Norwegian Coastal Administration) développaient séparément leur propre plan de transport en utilisant des modèles de type équilibre généralisé et elles soumettaient ces plans au ministère des Transports et des Communications pour l'élaboration d'un plan national du transport. Chacun de ces organismes employait certaines parties du modèle de planification selon ses besoins et son champ de responsabilité et utilisait les données à sa disposition qui différaient beaucoup d'une administration à l'autre. Ainsi, il était très difficile de rassembler ces plans pour constituer un plan national des transports. De plus, les organismes estimaient que les modèles utilisés ne produisaient pas des résultats correspondant aux attentes et auxquels on puisse se fier : le découpage du territoire en 439 municipalités et l'utilisation de 4 groupes de produits seulement basée sur des données non mises à jour semblaient être trop grossiers pour des analyses détaillées. À la suite de cette expérience d'élaboration d'un premier plan de transport, le ministère des Transports et des Communications et celui des Pêches ont décidé de revoir et d'évaluer les modèles de planification existants pour développer un nouveau modèle pour la Norvège. Les logiciels d'affectation ont aussi été évalués pour mieux connaître leurs exigences au début du développement du modèle principal de planification.

L'objectif principal du nouveau modèle consistait à améliorer le modèle national de planification du transport des marchandises et des passagers en incluant une dimension spatiale.

Dans NEMO, le découpage du territoire utilisé est constitué de 439 zones représentant les municipalités norvégiennes et 40 zones pour l'extérieur du pays (34 pour Europe et 6 pour le reste

du monde). Dans PINGO, le territoire de Norvège est représenté par 19 zones constituées de comtés norvégiens et une zone représente l'extérieur du pays. Les deux modèles utilisent la même définition des 11 groupes de produits considérés. L'année de base est 1999 (Hovi et Vold 2003).

PINGO est un modèle de demande basé sur une méthodologie d'équilibre spatial généralisé. Pour chaque comté, le modèle considère 9 secteurs industriels pour estimer les productions et consommations des produits. Les importations et exportations nationales sont également désagrégées par comté. Le modèle est calibré à partir de statistiques nationales par comté et les coûts et volumes entre les comtés sont calculés pour l'année de base. Le modèle génère des prix d'équilibre pour les échanges inter-comtés et projette des matrices origine-destination inter-comtés et avec l'étranger pour utilisation dans NEMO.

NEMO est le modèle d'affectation du modèle norvégien de planification nationale, construit à l'aide du logiciel STAN. Une représentation détaillée des réseaux de transport terrestre et maritime a été réalisée. Cette représentation n'inclut pas de capacités et ne considère donc pas les phénomènes de congestion. NEMO détermine les itinéraires et estime les flux et coûts de transport entre les paires origine-destination pour chaque produit considéré. Il produit des statistiques concernant diverses mesures de performance (nombre total de tonnes-km, par exemple) par mode et permet l'analyse de diverses politiques de transport et modifications dans l'infrastructure.

Les deux modèles norvégiens, PINGO et NEMO, peuvent être utilisés indépendamment pour des analyses particulières à « court » ou « moyen » terme. Pour la planification à long terme, les deux modèles sont utilisés ensemble, de façon itérative pour capturer la rétroaction des prévisions de l'affectation des flux sur la demande. La Norvège a produit un plan stratégique de transport pour le période de 2006-2011.

Kleven (2003) a décrit les grandes lignes de l'organisation du développement du modèle norvégien. Voici les principaux aspects de cette organisation :

- Le financement du projet est partagé (selon des parts différentes) entre les organismes responsables des différents modes de transport, le ministère des Transports et des Communications et celui des Pêches.
- Une personne de chacun de ces organismes fait partie à temps plein d'un groupe de travail central.
- Le projet est constitué des cinq sous-groupes suivants: la gestion, le groupe de travail central, le groupe de travail pour l'analyse du transport, les leaders de groupes de travail régionaux, les consultants pour le développement du modèle et le comité de communication. Une personne de chacun des organismes responsables des modes de transport a été affectée à chacun des groupes de travail régionaux.
- Des personnes-clés désignées dans chacun de groupes de travail régionaux permettent une meilleure communication et une meilleure identification des besoins.
- Un cours portant sur la modélisation dans les transports a été développé et suivi par plusieurs personnes dans toutes les régions. Ce cours a donné une base de connaissances nécessaires pour comprendre le nouveau modèle et mieux l'utiliser.

- Une enquête portant sur les besoins de modélisation, tels que perçus par différents acteurs, a été menée auprès du personnel des différents organismes de chacune des régions.
- Une « compétition » de développement des idées a été lancée auprès des consultants dans les pays nordiques afin de choisir les meilleurs pour les différents aspects du projet.
- Des efforts ont également été faits pour impliquer des transporteurs. Ils ont manifesté leur intérêt de participer, mais n'ont pas répondu à la demande de fournir des informations sur leurs coûts en prétextant que ces informations sont confidentielles.
- Il est important d'impliquer des utilisateurs locaux du modèle pour mieux l'adapter à leurs besoins; ces utilisateurs pourront également fournir les données nécessaires. De plus, les modèles locaux pourront être remplacés par le modèle national.

Les publications sur l'évaluation du modèle norvégien ne mentionnent pas de problèmes spécifiques de compatibilité et d'intégration des données de sources diverses. Ils mentionnent toutefois des différences entre les matrices de demande obtenues par le modèle d'équilibre spatial, d'un côté, et par celles dérivées des statistiques sur le transport, d'un autre côté. Les auteurs (Hovi et Vold, 2003) indiquent que 1) il a été difficile de déterminer quelles matrices étaient « correctes »; 2) c'est problématique de dériver des matrices nationales à partir d'enquêtes à échantillon trop faible ou régional; 3) les matrices ont été « ajustées » lorsque les différences étaient trop grandes. La barrière linguistique empêche toutefois de consulter les rapports complets rédigés en norvégien sur l'évaluation du modèle.

Références

1. Hovi, I.B., A. Vold. *An overview over the national freight model for Norway.* Conference on National and International Freight Transport Models. 2003
2. Hovi, I.B., A. Vold, V. Jean-Hansen, S. Johansen, A. Madslien. *Basis data requirements for developing the freight model system in Norway.* TØI, Oslo, November 2004.
3. Ivanova, O., A. Vold, V.Jean-Hansen. *A SCGE approach to forecasting interurban transport flows in Norway.* Conference on National and International Freight Transport Models.2003
4. Kleven, O.A.. *The issues to be investigated in the Norwegian national model system(s).* Conference on National and International Freight Transport Models. 2003
5. Ravlum, I-A., H. Lauridsen. *National Transport Planning in Norway and Sweden - a comparison.* Institute of Transport Economics (TØI). Report of 59 pages in Norwegian, summary of 5 pages in English, Oslo, 2001.
6. Lauridsen, H. 2000. *Strategic Transport Planning and Evaluation: The Scandinavian Experience.* TRANS-TALK Policy and Project Evaluation, Workshop on Projects, Programmes, Policies: Evaluation Needs and Capabilities. Brussels, November 6-8, 2000.
7. RAND Europe. *Review of freight modeling (Review of Models in Continental Europe and Elsewhere).* www.wspgroup.com, Cambridge, UK, June, 2002.

BELGIQUE

Après une revue exhaustive de la documentation sur la modélisation du transport des marchandises en Belgique, nous avons décidé de concentrer nos efforts sur la description du plan de la région wallonne et du logiciel NODUS à l'aide duquel ce plan a été bâti. Il faut noter que la collecte des données est très peu documentée et ce manque des publications détaillées empêche une discussion plus approfondie sur cette question.

L'étude intitulée «Plan de transport multimodal interurbain de marchandises de la région wallonne» a été réalisée par STRATEC (http://www.stratec.be/) pour le compte du Ministère de l'Équipement et des Transports de la Région Wallonne. Le texte suivant décrit l'étude, qui comportait trois phases :

« La première phase consiste en un recueil des données relatives à l'offre et à la demande de transport des réseaux routiers, ferroviaire et fluvial, en l'analyse et diagnostic de la situation actuelle et en la mise au point détaillée de la méthodologie de l'étude.

La deuxième phase s'attache à la mise au point d'un outil de prévision de la demande à partir de données économiques, ainsi qu'à la mise au point d'un modèle de simulation conjointe du choix modal et du choix d'itinéraires sur l'ensemble des réseaux de transport de Wallonie et des réseaux européens principaux. Ces réseaux couvrent l'entièreté de l'Europe. En Belgique, le détail des réseaux est celui de la carte des voies de communications de l'Institut Géographique National au 1:400.000.

Le modèle de simulation comporte trois modules :

- *Le premier module est un module à caractère macro-économique : à partir d'agrégats macro-économiques (PIB, importations, exportations,...), ainsi que des données d'emploi des différentes branches de l'industrie et du commerce de gros, il permet d'estimer les tonnages chargés et déchargés pour chaque type de marchandise (10 chapitres NSTR) dans les arrondissements wallons, en Région de Bruxelles-Capitale, ainsi que dans les provinces flamandes.*
- *Le deuxième module est essentiellement un module de distribution de la demande : il répartit les tonnages chargés et déchargés selon les origines et les destinations. À ce stade, le découpage géographique est affiné au niveau des communes en Belgique (NUTS 4 (NUTS -Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques)) et des régions NUTS 2 ou NUTS 3 dans les pays voisins. Ce module produit donc des matrices de demande de transport tous modes confondus selon un découpage géographique fin. Ces niveaux de classification sont requis pour la visualisation et analyse spatiale des données nationales et régionales. (Pour plus de détails de la classification des niveaux NUTS voir: http://europa.eu.int/comm/eurostat/ramon/nuts/basicnuts_regions_en.html)*
- *Le troisième module est un modèle combiné de choix du mode et d'affectation de la demande sur les réseaux de transport multimodaux; il réalise le choix:*
  - *du mode de transport : voie navigable, route, rail ;*
  - *du moyen de transport : camion léger, camion lourd, train complet, wagons isolés, 4 types de bateaux (300t, 600t, 1350t et 2000t et plus) et barges ;*

- *ainsi que de l'itinéraire de transport, incluant le cas échéant des transferts d'un mode vers un autre, aux nœuds où cette possibilité existe.*

Les résultats des simulations sont publiés sous forme de cartes de flux et de statistiques d'usage des réseaux (tonnes transportées, tonnes/km, véhicules/km, parts modales, coûts généralisés, etc.).

Afin de tenir compte de l'effet de la congestion possible de sections des réseaux routiers sur la qualité de service du transport de marchandises, une matrice des flux origine-destination des voitures particulières a été élaborée. Elle est utilisée pour « précharger » le réseau routier et permettre d'estimer la vitesse moyenne de circulation des véhicules lourds en fonction du trafic total sur ces sections.

Le modèle de simulation a été calibré sur la situation observée pour l'année 1995, pour chacun des trois modes considérés. Pour cette année, les flux calculés à l'aide du modèle ont ainsi été comparés aux flux effectivement mesurés, afin de s'assurer qu'après avoir subi les différents ajustements nécessaires, le modèle produit une image suffisamment fidèle de la réalité.

La troisième phase consiste en l'examen de l'évolution tendancielle de la demande et de la situation des réseaux wallons. Elle donne ensuite une large place à l'analyse d'une série de scénarios internes et externes ainsi qu'à la mise au point du programme d'actions le plus approprié en vue d'atteindre les objectifs de la Région Wallonne pour l'horizon 2010. »

Le logiciel NODUS a été utilisé pour la réalisation de la phase d'affectation et pour l'analyse des résultats. NODUS réalise une modélisation très détaillée des réseaux de transport, de telle façon que « toutes » les opérations de transport sont identifiées et leurs coûts pris en compte. Neuf modes de transport ont été identifiés. Les fonctions de coûts sont définies pour 4 types de liens virtuels : chargement, transit, transbordement et mouvement. Le logiciel réalise l'affectation de la demande sur ce réseau en effectuant une recherche systématique des chemins, des modes et des moyens de transport, qui minimisent les coûts généralisés, en considérant toutes les combinaisons de modes et de moyens (Geerts et Jourquin 2000, Beuthe et Jourquin 2001).

Parmi les analyses effectuées, mentionnons celle concernant la substitution par le rail et les voies navigables intérieures du transport routier. C'est une question importante étant donné que le réseau des transports belge se trouve géographiquement à la croisée des chemins européens et qu'il fait face à des problèmes sérieux de congestion des routes et d'émission de polluants par les voitures et camions. Une des solutions de cette problématique a été de calculer des élasticités directes et croisées des demandes de transport des différents types de marchandises. Des élasticités par arc ont été estimées par la comparaison des résultats de deux simulations réalisées par NODUS avec des coûts de transport représentant diverses politiques de tarification et contrôle.

NODUS a été installé au Ministère de l'Équipement et des Transports de la Région Wallonne. Le développement de nouvelles versions de ce logiciel et leur validation sont réalisés par l'équipe du Groupe Transport et Mobilité (GTM) des Facultés Universitaires Catholiques de Mons (FUCAM).

Références

1. Geerts, J.F., B.Jourquin. 2000. *Freight transportation planning on the European multi-modal network : the case of the Walloon region.* The 6th RSAI World Congress 2000, Lugano, Switzerland, May 16-20 2000. 15p.
2. Beuthe, M., B.Jourquin. 2001. Vers une Mobilité Durable : Effets Économiques et spatiaux d'un transport de marchandises en augmentation. Rapport final du groupe Transport et Mobilité.19p.
3. Jourquin, B., M. Beuthe. 2004. A decade of freight transport modeling with Nodus: Acquired experiences and new challenges.TRALOG, Molde, Norway, August 25-27 2004. 20p.
4. Synthesis-rapport of the project LAMBIT (Location Analysis for Belgian Intermodal Terminals) www.belspo.be/belspo/home/publ/rappmobil_fr.stm
5. Jourquin, B. 1995. Un outil d'analyse économique des transports de marchandises sur des réseaux multi-modaux et multi-produits. Le réseau virtuel, concept, méthodes et applications. Thèse de doctorat, FUCAM. 212p.
6. STRATEC, Études avec enquête « préférences déclarées ». www.stratec.be

ROYAUME-UNI

En Grande-Bretagne, comme ailleurs, les données typiquement utilisées pour la modélisation du transport des marchandises sont celles obtenues lors d'entrevues en bordure de route (« roadside interviews »), menées pour une étude spécifique ou reprises d'une étude antérieure, les comptages du trafic, les données d'enquêtes auprès des opérateurs, des données concernant l'utilisation des sols (« land-use data »), ainsi que des facteurs de croissance ou autres variables de prévision économique.

Les données sur le coût des marchandises sont obtenues du *Corporate Services Price Index (CSPI)* disponible au Département des Statistiques sur Internet. Les indices de prix, tels que le prix de transport des marchandises par la route, par les traversiers (ferry), par les voies navigables intérieures et maritimes, par les services d'expédition des marchandises, de courrier et de petits paquets, sont publiées sur le site web de CSPI depuis 1995. Les indices des prix pour les autres services de transport seront ajoutés au fur et à mesure au cours de prochaines années.

Des données économiques provenant de différentes statistiques au niveau national sont également utilisées : valeur et volume d'importation et d'exportation selon les secteurs économiques, tableaux nationaux entrée-sortie en unités de valeur entre producteurs et consommateurs dans chacun des secteurs économiques, séries chronologiques des tendances passées pour les variables économiques. Ces données posent certains problèmes. Plus le zonage se raffine spatialement (du niveau national vers le niveau régional, par exemple), moins il y a de données qui soient utilisables et mises à jour. Il y également un problème au niveau de la catégorisation des marchandises, car les différentes sources de données utilisent leurs propres catégories qui ne sont pas toujours facilement convertibles.

Trois enquêtes sont menées systématiquement en Grande-Bretagne :

- CSRGT, « Continuing Survey of Road Goods Transport », est basé sur un échantillonnage aléatoire de 400 véhicules par semaine. On demande à l'opérateur de chaque véhicule retenu de fournir des informations détaillées sur tous les voyages réalisés pendant la dernière semaine.
- IRHS, « continuing International Road Haulage Survey », repose sur un échantillonnage aléatoire de 85 transporteurs actifs en transport international. On demande à chaque compagnie de fournir des informations détaillées sur tous ses camions qui ont voyagé à l'extérieur du pays durant les jours couverts par l'enquête.
- RoRo, « quarterly Roll-On/Roll-Off Enquiry », est réalisée sur une base volontaire et elle est la seule à fournir des détails sur le nombre de véhicules étrangers entrant au pays. L'enquête réalise un recensement de tous les opérateurs de traversiers (ferry) de type RoRo.

Le département des Transports britannique révise actuellement ses données sur le transport routier pour les harmoniser et réduire le niveau de zonage selon la norme NUTS-3 qui spécifie qu'une zone devrait comprendre entre 180 000 et 800 000 habitants[1]. Les données doivent aussi être harmonisées et intégrées dans les bases de données sur les transports de la CE.

Selon ME&P (2002), les données de comptage du trafic et celles obtenues du CSRGT ne se jumèlent pas correctement. Les auteurs émettent d'ailleurs une mise en garde relativement à leur utilisation dans le modèle national des transports de marchandises : il faut très bien comprendre comment des erreurs peuvent être survenues et en tenir compte en employant les données.

Pour les autres modes du transport, les données sont obtenues directement des organismes responsables, tels que les autorités portuaires, les compagnies aériennes et celles qui gèrent le transport ferroviaire. Le département des Transports explore la possibilité d'utiliser de nouvelles sources de données, telles que le suivi des véhicules par GPS qui pourrait beaucoup améliorer l'exactitude des renseignements sur les origines et les destinations, ainsi que sur les itinéraires.

Le modèle de planification nationale GBFM (« Great Britain Freight Model ») est utilisé par le ministère des Transports (« Department of Transportation ») et par d'autres organisations telles la « Strategic Rail Authority » (SRA : http://www.sra.gov.uk/who) et « Network Rail » (http://www.networkrail.co.uk/), ainsi que pour des études multimodales réalisées par d'autres organisations. Jusqu'à l'automne 2005, la SRA assumait le leadership et la direction stratégique du système ferroviaire britannique. Entre autres responsabilités, l'organisation accordait et gérait les franchises de transport, développait les projets majeurs d'infrastructure et publiait un plan annuel stratégique. Elle était également en charge de certains aspects de la protection des utilisateurs du système. La plupart de ces responsabilités sont maintenant dévolues au nouveau « Rail Group » du « Department of Transportation ». Network Rail est l'entreprise qui opère l'infrastructure ferroviaire britannique. L'audit de 2002 de ce modèle indique qu'il n'y a que très peu de littérature accessible portant sur sa description détaillée et sur la démarche de développement suivie, étant donné qu'il est la propriété d'une firme privée. Pour ces raisons, le GBFM n'est présenté que dans ses grandes lignes.

Le GBFM a été développé à partir d'un groupe de modèles distincts développés au cours de 25 dernières années qui ont été intégrés dans le même logiciel. La méthodologie de tous ces modèles et donc du GBFM est similaire et basés sur le concept d'utilité aléatoire.

Le GBFM travaille à partir d'une grande base de données de matrices de flux origine-destination. Les données proviennent des UK Customs and Excise Trade Statistics (1999), du CSRGT 1999, de l'échantillonnage des mouvements ferroviaires Railtrack's RTIS (1999), et du Department of the Environment, Transport and Regions (DETR) Origin and Destination Survey, ODIT (1991). Le modèle combine des données de l'enquête ODIT et des informations sur le commerce international. Il identifie ensuite des chemins multimodaux pour les paires origine-destination associées au trafic international. Ces flux « internationaux » sont ensuite enlevés des matrices provenant du CSRGT et du Railtrack's RTIS (qui n'identifient pas le trafic international) avant de réaliser l'affectation du trafic national. Pour l'affectation, le modèle

---

[1] voir *http://europa.eu.int/comm/eurostat/ramon/nuts/basicnuts_regions_en.html* et *http://www.statistics.gov.uk/geography/nuts.asp*

identifie d'abord pour chaque paire origine-destination la « meilleure » route pour chaque mode. Le trafic est ensuite distribué entre ces chemins par un modèle d'utilité aléatoire (de type « logit ») basé sur un coût généralisé qui englobe le coût de transport et d'accès, ainsi que des facteurs mesurant la densité du réseau modal, la fiabilité du service et les perceptions des utilisateurs. Ces derniers facteurs sont exogènes (indépendants de l'affectation).

Les forces identifiées du modèle GBFM sont sa flexibilité (il est possible de le modifier facilement et d'intégrer des modules externes), son étendue (le modèle est utilisé par différentes organisations et chacune a importé ses données et validé les résultats), et sa compatibilité avec d'autres modèles nationaux (WSP, 2002). Le même rapport identifie les principales faiblesses du GBFM comme étant le manque de cohérence interne (définition des zones et des produits), l'incapacité de refléter comment les opérateurs organisent la chaîne d'approvisionnement, ainsi *« transforming a production-consumption pattern into a set of distinct trips or consignments »*, l'absence de modélisation des camions légers et le traitement trop grossier du temps (absence de subdivisions des journées et des heures).

L'audit du modèle a recommandé au département des Transports de réaliser une documentation exhaustive de la méthodologie du modèle pour mieux comprendre son fonctionnement et ainsi pouvoir proposer des améliorations.

Références

1. ME&P. 2002. Review of Freight Modelling; Report B1 – Review of GB Freight Models. DfT Integrated Transport and Economic Appraisal, June 2002.
2. ME&P. 2002. Review of Freight Modelling; Report B4 – Review of Data Sources. DfT Integrated Transport and Economic Appraisal, May 2002.
3. WSP, 2002. Review of Freight Modelling; Initial Projects. DfT Integrated Transport and Economic Appraisal, November 2002.
4. BFM - Project History. http://www.mdst.co.uk/MDSTBody-gbfm-history.htm
5. ME&P. 2002. Review of Freight Modelling; Response to Independent Review by John Fearon of Work Area A & B Reports. DfT Integrated Transport and Economic Appraisal, June 2002.

BRÉSIL

Dans les années 1970-1980, le Brésil avait accumulé une dette extérieure importante. Ce phénomène était aggravé par la hausse du prix du pétrole que le Brésil devait, et doit toujours, importer. Un éventail de politiques avait été mis en place pour tenter de redresser la situation. L'exportation massive de produits brésiliens, agricoles et industriels, constituait ainsi une priorité, ce qui a amené le développement de régions intérieures pour la production agricole et minière. Ces politiques présentaient de grands défis pour le système brésilien de transport qui devait assurer des flux importants de produits sur de grandes distances. Il fallait donc non seulement investir dans le développement du système de transport, mais aussi l'exploiter de la façon la plus efficace possible. Il fallait, en particulier, « optimiser » les investissements dans l'infrastructure du réseau de transport (les évaluer et comparer leurs coûts et leurs bénéfices espérés) et évaluer les options de transport les plus avantageuses au niveau de la consommation d'énergie.

C'est dans ce contexte qu'a été réalisé, à partir de 1983, le projet « *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil* » par des chercheurs du Centre de recherche sur les transport (CRT), Université de Montréal, en collaboration avec des chercheurs du département de Génie industriel de la Pontificia Universidade Catolica de Rio de Janeiro (PUC-RJ) et des représentants de GEIPOT, l'agence en charge des études et de la planification pour le ministère des Transports du Brésil.

Le but principal du projet était de mettre au point les méthodes et les moyens nécessaires pour évaluer les impacts de changements dans l'infrastructure brésilienne de transport des marchandises, avec un souci particulier relativement à la consommation d'énergie, selon divers scénarios de développement économique et d'exportation. Les méthodes envisagées de planification et la base de données nécessaires pour ces méthodes devaient être implantées au Brésil pour ainsi permettre de réaliser constamment des exercices de planification stratégique. Chacune des organisations participantes a contribué à la réalisation du projet en fonction de ses compétences: le CRT a développé la méthodologie et l'implantation de cette méthodologie; la PUC-RJ a analysé et décrit le contexte brésilien du transport des marchandises en étudiant les matrices origine/destination et en contribuant à la modélisation du transport ferroviaire; GEIPOT a fourni les données nécessaires, orienté le projet, participé à la modélisation du réseau et a été responsable de la réalisation des études au-delà de la fin du projet.

Notons que l'équipe du CRT a continué les développements méthodologiques et logiciels et a produit le logiciel STAN, dont plusieurs licences ont été offertes aux partenaires brésiliens. Les études qui ont complété le projet au Brésil et ont montré l'intérêt et la puissance de la méthodologie ont été réalisées avec STAN.

Le réseau de transport modélisé lors de cette étude incluait le transport ferroviaire et routier, ainsi que par voies navigables. Dix modes ont été utilisés pour réaliser cette modélisation.

Le réseau de transport ferroviaire a été représenté par cinq modes en considérant l'écartement des voies ferrées (large, étroit, à 1 mètre), le nombre de voies (voie double ou unique) et l'électrification des voies (les trains à traction diesel pouvant emprunter les voies électriques). Des transferts étaient utilisés pour représenter le passage entre des voies de calibre différent ou entre des voies électriques et diesel. Des attributs tels que la longueur, la capacité, des facteurs de traction et de consommation d'énergie ont été considérés pour décrire les liens et les

véhicules, et des fonctions de congestion ont été calibrées pour représenter la capacité limitée des chemins de fer brésiliens.

Le réseau routier a été représenté par les segments routiers où les flux de marchandises excédaient 500 000 tonnes par année. Les routes ont été classifiées selon des attributs qualitatifs et quantitatifs tels que la classe hiérarchique, le nombre de voies, la vitesse permise, le type de pavage (route pavée ou non), la qualité du pavage, et la géométrie du profil horizontal et vertical de la route (montagneuse, sinueuse, etc.). Un mode représentait le réseau routier. Des coefficients de coût unitaire de transport et de consommation d'énergie ont été ensuite calculés pour les principaux types de camions en utilisant des équations de régression calibrées lors d'une étude (et enquête) précédente.

Les ports du Brésil sont sous deux juridictions différentes : les ports les plus importants sont de juridiction fédérale, tandis que les ports secondaires sont sous juridiction provinciale. Les ports secondaires d'une province se trouvent à distance très rapprochée des ports fédéraux et se spécialisent dans la manutention d'un ou quelques types de marchandises seulement. Ainsi, il a été décidé de les agréger en systèmes portuaires autour des ports fédéraux les plus importants. Des données ont été recueillies relativement à la capacité de ces systèmes portuaires, aux accès modaux au port, et aux coûts associés au transbordement, à l'entreposage et à l'accès maritime au port. Des représentations schématiques de ces ports, en utilisant des liens d'un mode « port », ainsi que des transferts, ont été ainsi intégrées au modèle. Des fonctions de congestion ont été calibrées pour représenter la capacité limitée de ces ports.

Le réseau de voies navigables était composé de trois modes : les voies de cabotage, la navigation intérieure (sur les « lagunes » du sud du pays et sur certaines rivières) et la navigation de haute mer. De simples mesures de coût ont été dérivées à partir des distances entre les ports, des restrictions de gabarit des bateaux, des types de bateaux et des évaluations correspondantes aux temps de parcours.

Des transferts intermodaux ont été utilisés pour représenter les installations permettant le passage d'un mode à un autre. La représentation du réseau était très détaillée dans la région principale de l'étude, moins dense dans les zones limitrophes et plutôt schématique pour les régions à la périphérie. Le niveau de détail de la représentation des zones externes dépendait du volume des échanges entre celles-ci et la zone étudiée.

En ce qui concerne la demande, 455 zones représentaient le territoire brésilien, dont 165 étaient dans le territoire d'étude. Les zones ont été obtenues par l'agrégation des municipalités selon l'importance économique. La définition des produits a été réalisée à partir d'une consolidation de la liste de 102 produits contenus dans la nomenclature brésilienne des commodités. Les facteurs retenus dans cette sélection ont été les suivants : la magnitude et la concentration des flux, l'importance économique des produits et les perspectives d'expansion du secteur. Huit produits avaient été sélectionnés. Les matrices d'origine/destination ont été produites à partir d'une étude de la demande du transport des marchandises réalisée par GEIPOT pour l'année 1980. Ces matrices avaient été déterminées par une variété de méthodes : enquêtes, entrevues directes dans les compagnies et auprès des entités patronales, ainsi qu'auprès d'organisations publiques. La validation des matrices a été réalisée dans le cadre du projet, en utilisant les outils de représentation et d'analyse de la demande offerts par STAN, ainsi que des éléments d'analyse entrée-sortie.

Il faut mentionner que des efforts considérables ont été consacrés à la compilation et l'analyse des données, ainsi que pour s'assurer de leur compatibilité les unes avec les autres. De plus, une des recommandations faites à la fin du projet a été de maintenir et mettre à jour de façon continue la base des données afin de faciliter l'utilisation pertinente et systématique de STAN pour des analyses stratégiques.

La région Sud-est du Brésil a été choisie pour la validation du modèle et les tests de base des données. Cette région correspond au cœur du Brésil en termes de population, ainsi que de production et de consommation industrielles. Sept scénarios différents ont été analysés pour cette région en utilisant la base de données constituée lors du projet en concordance avec les priorités du ministère des Transports du Brésil.

Plusieurs autres projets importants ont été réalisés après l'implantation de STAN à GEIPOT. Un ensemble majeur d'applications a été réalisé dans le cadre du « Strategic Corridors Program » de GEIPOT. Ce programme visait l'analyse, la planification et la coordination des transports dans un ensemble de corridors stratégiques pour les importations et les exportations du Brésil. Nous n'avons trouvé que la documentation relative à l'étude du corridor du fleuve São Francisco. Cette étude a examiné la distribution des flux et l'utilisation du système de transport en considérant une augmentation projetée de la demande. En particulier, cette étude a analysé l'impact de deux investissements : l'amélioration de la navigation sur le fleuve São Francisco et la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire. Plusieurs scénarios ont été évalués. Les résultats de ces applications ont montré l'utilité de STAN et ses performances ont été appréciées par les autorités brésiliennes.

Il est important de souligner que lors de l'implantation de STAN à GEIPOT, les chercheurs de CRT ont formé le personnel local pour l'utilisation future de STAN et l'entretien de la base des données.

Il n'est pas possible d'élaborer sur les développements ultérieurs de la planification stratégique des transports des marchandises au Brésil, étant donné l'absence de documentation. Nous savons toutefois que GEIPOT a poursuivi les activités de mise à jour des banques de données et de réalisation de projets de planification stratégique en utilisant STAN. Une réorganisation du ministère des Transports du Brésil (vers le début du millénaire) a conduit au démantèlement de GEIPOT et à l'attribution de ses tâches à d'autres agences ou compagnies.

Références

1. Florian M., Crainic T.G. (éditeurs), (1989), *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part I Project Summary*, publication #638, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*
2. Florian M., Crainic T.G. (éditeurs), (1989), *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part II Methodology: The New Contributions*, publication #639, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*
3. Florian M., Crainic T.G. (éditeurs), (1989), *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part III The STAN System*, publication #640, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*

4. Florian M., Crainic T.G. (éditeurs), (1989), *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part IV Specifying Data for the STAN System: Requirements, Concepts, Sources and Estimation Procedures*, publication #641, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*

5. Florian M., Crainic T.G. (éditeurs), (1989), *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part V Applications*, publication #642, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*

ÉTATS-UNIS

Les modèles du transport des marchandises aux États-Unis se situent dans deux catégories : la représentation du camionnage dans les agglomérations urbaines (intégrée la plupart du temps dans des modèles de planification régionale « passagers ») et les modèles des flux de produits utilisés au niveau national ou au niveau des États. On ne peut pas dire qu'il y ait des efforts soutenus de modélisation globale; la modélisation se fait sporadiquement et indépendamment. L'emploi d'approches différentes résulte de priorités différentes, autant au niveau national qu'à celui des États ou des agglomérations urbaines (notamment les « *Metropolitan Planning Organizations* »). Les planificateurs urbains sont surtout intéressés à diminuer la congestion sur le réseau routier de leur agglomération, tandis que les planificateurs régionaux concentrent leurs efforts sur l'efficience et la compétitivité économique. Cependant, il faut remarquer qu'aux États-Unis des efforts considérables sont consentis pour la collecte des données. Étant donnée la problématique de cueillette de données propre au présent projet, nous décrivons ces efforts dans cette fiche.

La « Federal Highway Administration » (FWHA) a développé en 1999 un prototype de modèle des flux des produits (« commodity flow model ») pour les fins d'analyse de la législation et des politiques (FWHA, 2005). Le « Freight Analysis Framework » (FAF) visait à prédire les flux de marchandises entre centre urbains et entre États afin de rationaliser et comparer les différentes propositions de « corridors » inter-États présentées par les autorités locales. Ces propositions de corridors devaient être évaluées dans le contexte du renouvellement de la législation fédérale des transports qui est étroitement liée au financement du réseau routier.

Le FAF vise le développement de la première base des données de flux de transport sur l'infrastructure nationale en se basant sur les données déjà existantes. La méthodologie du FAF est d'estimer les « trade flows » sur l'infrastructure nationale afin de mieux comprendre les relations géographiques entre les flux locaux et l'ensemble du système national de transport. Le FAF tient compte de quatre modes de transport : routier, rail, voies navigables et aérien.

La base de données de FAF (FAFD) est constituée des flux de transport (incluant les quatre modes) de marchandises de comté à comté, et ce au niveau des quatre premiers chiffres du « Standard Transportation Commodity Classification Code » (STCC). La FAFD est fondée sur la « Transearch Visual Database » de Reebie Associates. Ces données sur les volumes de marchandises selon les modes de transport proviennent de sources variées (Office of Freight Management and Operations 2002) :

- **CFS** (Commodity Flow Survey) réalisé périodiquement par le Bureau of Transport Statistics ;
- **Railroad Waybill Sample** du Department of Transportation Surface Transportation Board (DOT-STF). Il s'agit d'un échantillonnage stratifié réalisé à partir de la version détaillée et confidentielle que possède le DOT-SFT et qui représente les mouvements effectués par 62 compagnies ferroviaires majeures des États-Unis (toutes celles effectuant au moins 4000 mouvement annuellement; ceci inclut donc toutes les compagnies de Classe I et II) ;
- **Motor Carrier Data Exchange** qui est la propriété de Transearch. Les transporteurs qui participent à ce programme soumettent des échantillons des mouvements effectués

pendant l'année. Sont indiqués l'origine, la destination et le volume de chaque mouvement. Les entreprises participantes sont surtout, mais pas exclusivement, des transporteurs majeurs de lots brisés (« less than truckload ») et de charges entières (« truckload »). L'échantillonnage varie d'année en année, mais il couvre une grande partie de l'industrie et du pays (quelques 70 millions de mouvements apparaissaient dans les dernières années). Il faut signaler que la qualité des données centralisées par cette initiative privée est plutôt mal documentée est souvent remise en question.

Des sources de données supplémentaires ont été ajoutées pour constituer la FAFD : Survey of Manufacturers, DRI Industrial Production Indices, Trade Association Production & Shipment Reports, County Population Data, Inter-Industry Trade Patterns (Input/Output Table), Railroad Industry Proprietary Rebill Factors, Private Port Directories, etc. (pour les détails, voir www.fhwa.dot.gov/freight/freight-analysis/faf/). Les données pour le transport routier ont été les plus problématiques à trouver et une grande partie de celles qui ont été utilisées proviennent du CFS. De plus, pour obtenir les données initiales pour le transport routier, on a soustrait du volume total de marchandises transportées le total du volume transporté par le rail, les voies navigables et le transport aérien. Le chiffre obtenu a été considéré comme le volume de marchandises transportées par camion.

Les prévisions pour les années 2010 et 2020 ont été faites en se basant sur des prévisions économiques. Des prévisions de croissance pour chaque région ont été dérivées à partir des prévisions nationales. Des facteurs de croissance par produit ont ensuite été dérivés à l'intérieur de chaque région. Une procédure similaire a été utilisée pour prédire les importations et les exportations. Les flux « actuels » par porte d'entrée dans le pays, produit et zones d'origine et de destination ont été utilisés pour contraindre le processus de génération. Les facteurs de croissance ont finalement été appliqués aux données de 1998 pour produire les prévisions pour 2020 (Rand Europe, 2002).

L'exercice de modélisation et de développement de la FAFD a permis d'identifier certaines lacunes du FAF: l'absence de cohérence des données Transearch au fil des ans a corrompu les analyses de changements dans les flux des marchandises d'une année à l'autre ou la séparation des flux intérieurs et internationaux. La visualisation cartographique de différents scénarios de croissance économique et de leur distribution géographique a été réussie, cependant. La FHWA a établi un plan détaillé pour le développement futur du FAF. Les prévisions du transport des marchandises devraient se faire jusqu'à l'année 2040; cependant, les corrections de ces prévisions devraient se faire à chaque 5 ans jusque là.

Le Commodity Flow Survey (BTS) a été entrepris par un partenariat entre le Bureau of Census, le US Department of Commerce et le Bureau of Transportation Statistics du USDOT. Le CFS produit des données sur les mouvements des marchandises aux États-Unis afin de supporter les analyses de politiques publiques concernant les transports. L'objectif est d'évaluer la demande d'infrastructures et de services de transport, la consommation d'énergie, ainsi que des préoccupations au sujet de la sécurité, des risques et de l'environnement. L'enquête CFS a été commencée en 1993 et, depuis 1997, le Census Bureau prévoyait la réaliser aux 5 ans.

Le CFS 2002 (BTS, CFS 2002) couvre des entreprises sélectionnées des secteurs minier, manufacturier, ainsi que du commerce de gros et de détail (en partie seulement; on y retrouve surtout les « grands » réseaux de distribution). Il exclut le secteur agricole, les compagnies forestières, les pêcheries, les gouvernements, les entreprises de construction et de transport, les éta-

blissements étrangers, les entreprises de services et la majorité des magasins de vente au détail.

Le CFS recueille des données sur les expéditions dans les 50 États et le District de Columbia. L'échantillon de 50 000 établissements est choisi sur la base de la localisation géographique et du type d'industrie. Chaque établissement retenu reçoit un questionnaire pour quatre semaines de réponses et doit répondre à celui-ci relativement à un échantillon de ses expéditions d'une semaine de chaque trimestre. On demande aux répondants de fournir les informations suivantes :

- Destination intérieure ou point de sortie du pays,
- Produit,
- Valeur,
- Poids,
- Mode de transport,
- Date d'expédition,
- Indication si l'expédition a été une exportation (indiquer la destination, ville ou pays) ou une matière dangereuse (numéro UN ou NA),
- Pour les expéditions incluant plus qu'un produit, le produit qui représentait le plus grand pourcentage du poids dans cette expédition devait être indiqué.

Les rapports du CFS présentent au niveau national des estimations en tonnes, tonnes-milles et valeurs selon le mode du transport, incluant les combinaisons intermodales, la distance couverte, le produit et le poids.

Une nouvelle initiative a été récemment mise de l'avant afin de compléter et enrichir le FAF. Il s'agit du « Freight Model Improvement Program » (FMIP), une initiative du USDOT, conjointement avec les ministères de l'Énergie (« Department of Energy ») et de l'Agriculture (« Department of Agriculture ») et le « US Army Corps of Engineers ». Le programme est géré par le « Office of Freight Management and Operations » de la « Federal Highway Administration». Le programme vise l'amélioration de l'état de l'art et de l'état de la pratique relativement aux modèles de prévisions et d'analyse du transport de marchandises à tous les niveaux administratifs aux États-Unis. Le FMIP compte réaliser cet objectif par la mise en place d'une veille technologique dans le domaine, la production de rapports d'évaluation de modèles et méthodes, et le support au développement d'une nouvelle génération de modèles. Le FMIP se voit surtout comme un lieu de rencontre et d'échange des principaux intervenants, favorisant l'atteinte de consensus sur les façons d'améliorer modèles et méthodes, ainsi que leur application pratique. Une banque d'informations sur cette problématique est en cours de développement sur le site Web du programme. Une conférence nationale est prévue pour 2006.

Références

1. Office of Freight Management and Operations, USDOT. 2002. *Derivation of the FAF Database and Forecast.* 23p. http://ops.fhwa.dot.gov/freight/documents/WebMeth/
2. FHWA. 2004. Freight Analysis Framework: issues and plans. www.ops.fhwa.dot.gov/freight/freight_analysis/faf/fafplan_sep2004.html
3. Bureau of Transportation Statistics (BTS), *Commodity Flow Survey.* http://www.bts.gov/programs/commodity_flow_survey/
4. U.S. Census Bureau (CFS 2002), *Commodity Flow Survey* 2002. http://www.census.gov/svsd/www/cfsdat/2002cfs.html
5. FAF www.ops.fhwa.dot.gov/freight/freight_analysis/faf/index.htm
6. Freight Management and Operations, *Data Sources.* www.ops.fhwa.dot.gov/freight/freight_analysis/data_sources.htm
7. Freight Model Improvement Program (FMIP). http://www.fmip.gov/

AUSTRALIE

La revue des publications sur la planification des transports en Australie fait ressortir des aspects spécifiques à ce pays. Premièrement, le territoire australien est fortement urbanisé, 80% des Australiens habitant de grandes métropoles. Deuxièmement, le réseau de transport est orienté vers la liaison entre ces métropoles, avec une faible présence de routes alternatives. La modélisation du transport des marchandises est donc orientée vers la planification des flux interrégionaux et, bien sûr, vers le transport en milieu urbain. Selon Rand Europe (2002) et Watson et Greig (2002), les efforts australiens de modélisation ont souffert du manque de données fiables. Cependant, au cours des quelques dernières années, les autorités australiennes ont commencé à se doter de mécanismes pour la planification du développement des transports.

Cet effort a débuté par la publication du « National Guidelines for Transport System Management in Australia » (Australian Transport Council, 2004a). Ce document décrit les rôles des divers niveaux de gouvernement dans la planification et la gestion des transports. Il décrit également comment évaluer et comparer des projets d'investissement dans les transports. Dans ce contexte, le document met en évidence le rôle des modèles dans le processus de planification. On y décrit brièvement divers types de modèles, leurs objectifs et les données nécessaires et, surtout, on y indique les avantages de l'intégration de ces outils dans les processus de prise de décision, particulièrement au niveau gouvernemental. Le transport routier et le ferroviaire sont surtout visés, mais il est spécifié que d'autres modes seront inclus dans des versions futures du document.

Un second projet, le « National Transport Data Framework », fait suite au précédent et vise a développer une base nationale de données multi sujets (incluant, par exemple, des données sur les mouvements de passagers et de marchandises, les accidents routiers, etc.) pour pouvoir répondre aux objectifs du « National Guidelines for Transport System Management in Australia » (Australian Transport Council, 2004b). Le cadre de la base des données s'inspire de l'expérience des États-Unis dans le développement de bases de données provenant de sources diverses mais intégrées sur une même plate-forme et employables pour des objectifs et des niveaux d'analyses différents. Cette base des données devrait également remédier aux problèmes de juridictions multiples et à celui qui en découle au plan de l'échange et de l'accès aux données par différents types d'usagers (public, gouvernements, consultants, chercheurs universitaires, etc.) Étant donné que ces projets sont très récents, on ne connaît pas encore comment ils seront implantés et utilisés. Nous présentons cependant la méthodologie de l'enquête de circulation des marchandises 2000 et le modèle interrégional FreightSim.

Le Australian Bureau of Statistics (ABS) mène les « Freight Movements Surveys » (FMS) depuis 1980. Des efforts soutenus ont été consentis pour améliorer les données et la méthodologie d'une enquête à l'autre, la dernière ayant eu lieu en 1995. Les plus grands changements méthodologiques ont été apportés après l'enquête de 1994-1995 : des pré-enquêtes ont été menées en 1997-1998 pour une amélioration méthodologique de l'enquête 2000. Le FMS 2000 a mesuré les flux de marchandises et de produits entre les régions d'Australie. Cette collecte des données a couvert au total environ 14 000 véhicules sur 26 périodes de deux semaines dans l'année, chaque véhicule sélectionné devant remplir un rapport de ses activités pour les deux semaines pour lesquelles il était choisi (Watson and Greig, 2002). Tous les types d'opérateurs de transport ont été inclus dans l'enquête et l'unité d'étude était le véhicule. On a ainsi pu éviter le double comptage. La circulation des marchandises inter et intra agglomérations urbaines a été considérée, mais le transport international des marchandises a été exclu.

Le bassin de l'étude était constitué des véhicules immatriculés durant les 12 mois précédant le 31 mars 2001. Les « articulated trucks » (tracteur + remorque et les trains routiers) ont été inclus dans l'enquête, tandis que les « rigid trucks » et les camions légers, ainsi que les camions qui ne transportent pas de marchandises et les véhicules militaires en ont été exclus. Les données ramassées ont été limitées au minimum pour ne pas surcharger les répondants, mais la collecte s'est faite tout au long de l'année. Les données origine-destination ont été cueillies au niveau des divisions géographiques de l'Australian Bureau of Statistics (132 régions). L'enquête portait sur 21 groupes de produits. La façon (mode) dont le transport s'effectuait a été définie comme vrac solide, vrac liquide, marchandises en conteneurs et marchandises réfrigérées. Un problème a été toutefois observé concernant l'identification des marchandises transportées dans les conteneurs : la majorité des répondants les ont placées dans la catégorie « marchandises générales ».

Les données ont été enregistrées pour chacun des déplacements, incluant ceux en charge et ceux à vide, et comprenaient les items suivants : date du déplacement, état et agglomération ou ville d'origine et de destination, itinéraire utilisé, plein ou vide, distance couverte, description des marchandises et mode de transport. Le taux de réponse au FMS 2000 a été de 78%. Watson et Greig (2002) notent certaines leçons apprises à l'occasion du FMS 2000 :

1) affecter des ressources suffisantes pour le développement et la réalisation de l'enquête ;
2) rester en contact avec les participants pour augmenter le taux de réponse ;
3) effectuer des pré-tests du design final de l'enquête ;
4) noter les données de l'odomètre au début et à la fin de voyage pour mieux mesurer les kilomètres parcourus ;
5) penser à des moyens pour réduire les voyages sous rapportés et améliorer la description des produits en diminuant la partie « marchandises générales ».

Selon AustRoads (2003), le modèle *FreightSim* est un modèle de prévision de la demande de transport interrégional des marchandises. *FreightSim* a été développé par une firme privée de consultants sous contrat avec le Bureau of Transport and Regional Economics et a été utilisé pour faire l'estimation des flux de marchandises de l'année de base 1998-1999.

Ce modèle couvre les 132 régions de l'Australie définies par l'Australian Bureau of Statistics, 16 groupes de produits (1 groupe pour le « non vrac » et 15 groupes de produits en vrac) et 6 modes du transport. Des prévisions pour 20 ans peuvent être faites avec ce modèle à partir d'hypothèses de développement régional. Le modèle est constitué de deux modules qui couvrent respectivement le produit « non vrac » et les marchandises en vrac. Le module pour le « non vrac » emploie le modèle de gravité. Pour les marchandises en vrac, les niveaux de production, de consommation, et d'import sont ajustés selon les paramètres des scénarios de développement (croissance économique, population, etc.). Les flux de marchandises sont ensuite calculés en supposant une répétition des choix et distributions modaux et des chemins observés dans le passé. Il n'y a pas de phase d'affectation proprement dite.

En conclusion, les autorités australiennes font des efforts pour développer une approche nationale de planification et de gestion des transports afin de mieux cibler les investissements dans l'infrastructure australienne des transports, améliorant ainsi la gestion des fonds publics. Des avancées importantes ont été réalisées au niveau de la collecte des données, mais les efforts de modélisation et d'analyse ne semblent pas être complétés.

Références

1. Australian Transport Council. 2004a. *National Guidelines for Transport System Management in Australia*. 130p. http://www.atcouncil.gov.au/documents/NGTSM.aspx
2. Australian Transport Council. 2004b. *National Transport Data Framework*. 182p. http://www.atcouncil.gov.au/documents/pubs/NTDF.pdf
3. Watson L, M.Greig. 2002. *Experience with measuring freight movements in Australia*. 25th Australasian Transport Research Forum, Canberra, 2-4 October, 2002. 19p.
4. AustRoads. 2003. Forecasting inter-regional freight transport from regional development. AP-R226. 14p.

PAYS-BAS

Aux Pays-Bas, on utilise quatre modèles principaux de transport des marchandises pour différents projets d'analyse des politiques publiques et la production de prévisions.

Le modèle MOBILEC (**MOBIL**ity/**EC**onomy) est un modèle interrégional multi-périodes qui décrit les relations entre l'économie, la mobilité, les infrastructures et d'autres caractéristiques régionales. Le modèle prédit les niveaux dans le temps (lors de la dernière utilisation, l'horizon 1994-2029 était découpé par périodes de 3 ans) des variables économiques et de transport. La trajectoire de l'économie est représentée par un modèle macroéconomique de croissance adapté pour générer des prédictions des niveaux de chômage. Le modèle est au niveau régional pour les Pays-Bas et au niveau des pays pour le reste de l'Europe. MOBILEC n'utilise ni réseaux, ni affectation. Il ne prédit que les flux d'échange de marchandises au niveau régional.

La mobilité est divisée en mobilité productive (transport des marchandises et déplacement des personnes pour raisons d'affaires) et mobilité de consommation (les déplacements des personnes pour achats, loisirs, sports ou toute autre activité associée à la consommation). L'infrastructure des transports est un facteur qui limite la mobilité productive et de consommation et donc le développement économique. L'effet limitant des contraintes de capacité de l'infrastructure se traduit par l'augmentation du temps de parcours et du coût de mobilité (coûts par tonne). Dans MOBILEC, plusieurs autres caractéristiques régionales sont considérées telles que le développement technologique, la structure régionale de production, l'urbanisation, le niveau des salaires, l'existence de lieux récréatifs, la population, les emplois, les investissements et la situation géographique. Le modèle a été appliqué pour aider à prioriser certains projets d'infrastructure routière au Pays-Bas en produisant les données pour l'analyse coûts-bénéfices.

Le modèle TEM-II (The **T**ransport **E**conomic **M**odel) est employé pour produire des prévisions de transport des marchandises au Pays-Bas à long et moyen terme (RAND, 2002). TEM-II utilise un modèle entrée-sortie pour les prévisions annuelles de la demande de transport par mode. Les Pays-Bas sont représentés par 54 régions tandis que 77 zones représentent les autres pays. Le tableau entrée-sortie national est mis à jour pour l'année de prévision en utilisant les données économiques sectorielles. Ce tableau est ensuite utilisé pour produire les données de production et consommation pour 52 groupes de produits qui sont ensuite distribués par région. Des procédures particulières ajustent ces chiffres pour l'évolution prévue des importations et des exportations et déterminent la répartition des flux de conteneurs parmi les ports hollandais (selon l'accessibilité du port, les flux totaux déjà transférés dans le port et des critères spécifié par l'analyste). Le choix modal pour chaque paire origine-destination et produit est réalisé par des modèles d'utilité aléatoire.

Ce modèle ne contient pas de représentation de réseau (offre de transport) et ne fait pas d'affectation. La demande de transport prévue par TEM-II est affectée dans le Modèle du Système National Néerlandais (Dutch National Model System) simultanément avec celle de transport des personnes.

Le modèle SMILE, « Strategic Model for Integrative Logistics and Evaluation », a été développé dans les années 1994-1997 par une démarche conjointe du Transport Research Center du ministère des Transports et des organismes de recherche Netherlands Economic Institute et TNO Inro. (http://www.inro.tno.nl/), comme un système d'aide à la décision pour l'analyse de

politiques publiques en transport. Un des mérites de l'approche est de vouloir intégrer la « pratique » des chaînes logistiques dans la prévision des flux de marchandises.

SMILE prédit, pour une série d'années, les niveaux annuels des flux inter-régions à partir de prévisions économiques et d'une représentation des chaînes logistiques utilisées dans divers secteurs de l'économie. Le modèle utilise une représentation zonale composée de 40 régions aux Pays-Bas et de 37 régions pour le reste du monde. La représentation du réseau de transport englobe les réseaux routier, ferroviaire et aérien, ainsi que les voies navigables intérieures et maritimes et les pipelines. La représentation est sommaire; selon Rand Europe (2002), comme pour tous les modèles multi-périodes, la représentation du réseau dans SMILE est considérablement moins détaillée que dans les modèles habituels de prévision.

Les prévisions sont faites pour 542 types de produits, triés dans 50 familles « logistiques » décrites selon la stratégie de livraison, la fréquence des commandes, la valeur et la densité d'emballage, la distribution des délais d'approvisionnement et la distribution des gabarits (size) des envois. Le modèle requièrt également des informations concernant les échanges sectoriels et spatiaux (fonctions de production et tableaux origine-destination) et les préférences de choix logistique par famille de produits.

Deux types de prévisions sont effectués, par deux modules différents : « économie » et « transport ». Le premier module calcule les volumes de production et de consommation à partir des relations spatiales et fonctionnelles entre les produits, pour ensuite en déterminer la distribution par un modèle gravitaire. Le module « transport » part de ces informations et des préférences logistiques pour identifier les chaînes d'entreposage et de transport multimodes pour chaque produit et paire origine-destination. Un module « inventaire » décrit les chaînes logistiques et calcule des coûts totaux « logistiques » qui incluent des coûts de manipulation, d'inventaire et de transport pour les familles logistiques de produits. À noter que les coûts de transport, et donc « logistiques », ne sont pas directement sensibles aux résultats de l'affectation. Chaque module produit ainsi des matrices origine-destination par produit. L'exécution successive des deux modules représente la simulation d'une année. Ce processus est répété pour obtenir l'horizon de planification souhaité.

Le modèle SMILE a été appliqué pour le projet Questa du ministère néerlandais des Transports. Ce projet a développé quatre scénarios de développement de la société néerlandaise incluant les changements possibles aux niveaux technologique, social, culturel, démographique, économique et environnemental. L'objectif dans ce projet était de produire des prévisions de flux du transport et de changements dans le choix modal. Selon Tavasszy *et al.* (1998, 2000), la grande variété des variables prises en compte dans le modèle SMILE a permis d'analyser les quatre scénarios examinés pour l'année 2030.

Références

1. Tavasszy, L.A., B. Groothedde, C. Ruijgrok. 2000. *Aggregate models of spatial logistics.* Les Troisièmes Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique. Trois-Rivières, Québec, Canada, 9-11 mai, 2000. 20p.

2. Tavasszy, L.A., M.J.M. Van der Vlist, C.J. Ruijgrok, J. Van der Rest.1998. *Scenario-wise analysis of transport and logistics systems with a SMILE. The 8th WCTR conference, Antwerp, Belgium.16p.* http://www.sika-institute.se/utgivning/upph020521_13.pdf

3. RAND. 1996. *Improving Freight Transportation Policy in the Netherlands.* http://www.rand.org/publications/RB/RB6500/

4. RAND Europe. 2002. *Review of freight modeling (Review of Models in Continental Europe and Elsewhere).* www.wspgroup.com, Cambridge, UK, June, 2002.

5. Fox, J., A. Daly, H. Gunn. 2003. *Review of Rand Europe's Transport Demand Model Systems.* Rand, Santa Monica. 102p. http://www.rand.org/publications/MR/MR1694/MR1694.pdf

6. http://www.nea.nl/english/services/Datamanagement/mobilecvervolg.htm

FRANCE

La revue des écrits laisse croire qu'en France les efforts de planification nationale portent principalement sur la collecte des données en transport des marchandises. Ces efforts ont été réorientés vers l'intégration du pays dans la planification des transports à l'échelle européenne et vers l'analyse de politiques visant à diminuer l'émission de gaz polluants par le secteur des transports. Cependant, faute de documentation, il est impossible de décrire comment les banques de données sont employées dans les démarches de planification.

En ce qui concerne la modélisation, la recherche bibliographique n'a permis, en fait, que l'identification de propositions individuelles, tel le modèle SIMTRANS (Karsky 2001, Salini). Il s'agit d'un modèle macroéconomique représentant les divers intervenants par quelques attributs au niveau le plus agrégé et la dynamique de leurs interactions par un système d'équations différentielles. Le modèle ne suit pas l'approche de planification dite « à quatre phases ». En particulier, il n'y a donc pas de représentation du système de transport (offre) ou d'affectation.

Cette section décrit deux démarches françaises au niveau de collecte de données : la base de données SITRA-M et l'enquête-test Nord-Pas-de-Calais.

La banque de données du Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer de la France, SITRA-M (**S**ystème d'**I**nformation sur les **Tra**nsports de **M**archandises) contient des données sur les transports terrestres nationaux et internationaux, ainsi que sur le transport maritime et aérien international de marchandises. Les informations portent sur les tonnes transportées et, selon les sources, sur les tonnes-kilomètres réalisées ou la valeur des marchandises transportées (SESP, 2005a). SITRA-M rassemble quatre fichiers (SES, 2005b) :

- Le *Fichier TRM* contient des données issues de l'enquête TRM (enquête permanente sur les transports routiers de marchandises) réalisée par le Service Économie et Statistiques du ministère (SES). Le champ de l'enquête porte, depuis 1996, sur les véhicules à moteur (camions ou tracteurs routiers) immatriculés en France métropolitaine. L'enquête est réalisée par sondage sur un échantillon de véhicules. Chacun des véhicules sélectionnés fait l'objet d'une enquête sur son utilisation pendant une semaine. Les données qui sont comptabilisées concernent les déplacements routiers intérieurs et, depuis 1990, les déplacements internationaux (entrées, sorties et transit). Les déplacements sont classés selon la nature de l'opération de transport réalisée par le véhicule routier interrogé (transport pour compte d'autrui ou transport pour compte propre) et mesurés en tonnes transportées et tonnes-kilomètres réalisées. SES rapporte deux imprécisions liées à l'enquête: l'erreur d'échantillonnage et le redressement des non-réponses.

- Le *Fichier SNCF*. Le fichier fourni par la SNCF décrit les transports nationaux et internationaux réalisés par wagons complets. Le transport d'armes, de munitions et de matériel militaire est exclu, ainsi que le transport de colis. À partir de 1993, le fichier est exhaustif, alors que pour les années précédentes, SITRA-M disposait d'un fichier exhaustif pour les transports lourds, mais seulement des résultats d'un échantillon pour les transports légers (taux d'échantillonnage d'environ 10%, dépendant de la marchandise). Il est donc désormais possible de réaliser avec SITRA-M, au niveau du transport national, des exploitations du fichier SNCF en « suivant le véhicule » (le wagon en l'occurrence). En effet, pour le transport national, le véhicule reste sur le territoire

français, alors que pour le transport international le véhicule traverse la frontière française, directement ou sur un autre moyen de transport (convoi sur bateau, par exemple). Le tonnage indiqué correspond au poids taxé de la marchandise transportée. Il s'agit, en général, du poids brut.

- Le *Fichier VNF,* fourni par les Voies Navigables de France, contient les transports nationaux et internationaux pour compte propre et pour compte d'autrui effectués sous pavillon français et étranger. Le tonnage indiqué correspond au poids brut de la marchandise transportée.
- Le *Fichier DOUANES* recense tous les transports de marchandises faisant l'objet du commerce extérieur de la France, à l'exclusion du transit. Le tonnage indiqué correspond au poids net de la marchandise transportée.

En résumé, les fichiers TRM et VNF « suivent le véhicule », c'est-à-dire ne comptabilisent en international le transport d'une marchandise que s'il y a passage de la frontière par le véhicule qui effectue le transport. Le fichier Douanes, au contraire, « suit la marchandise », c'est-à-dire, considère en international tout transport de marchandise destinée à l'importation ou à l'exportation (SES, 2005c). Le fichier SNCF peut désormais être exploité selon l'un ou l'autre des deux concepts :

- Si l'on suit la marchandise (exploitations SITRA-M classiques), on parle de concept « statistique ». Dans ce cas, une marchandise importée ou exportée peut passer la frontière par un autre mode que le rail.
- Si l'on suit le wagon, on parle de concept « comptable », et dans ce cas le traitement du transport national dans les sources transport (SNCF, VNF, TRM) est semblable pour tous les modes.

SITRA-M permet de reconstituer des séries sur plusieurs années (depuis 1975) (SES, 2005d). On y décrit les transports selon plusieurs critères dont :

- Le mode de transport;
- La nature du transport (transport national en France - transport international chargé ou déchargé en France - transit sur le territoire français);
- La nature de la marchandise selon la Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport (NST);
- Le conditionnement;
- L'origine et la destination du transport (en France, les régions - à l'étranger, les pays).

Les modifications apportées dans SITRA-M ont été faites en tenant compte de résultats de l'Enquête-test Nord-Pas-de-Calais. La description ci-dessous suit celle de Rizet (2001).

L'enquête-test a été réalisée dans la perspective du renouvellement de l'enquête nationale auprès des chargeurs. Ce test a permis d'étudier les adaptations méthodologiques à apporter compte tenu de l'évolution des pratiques logistiques. On souhaitait également étudier les moyens d'une meilleure appréhension des envois ferroviaires et combinés et tester l'élargissement du champ d'enquête aux chaînes internationales. Les questionnaires de l'enquête ont été remplis en « face à face » auprès des établissements chargeurs, et des envois ont été sélectionnés pour un suivi de bout en bout propre à la reconstitution des chaînes. Les

informations recueillies à ce niveau ont été fournies par le chargeur, mais aussi par l'ensemble des intervenants de l'envoi (transporteurs, auxiliaires, destinataire) qui ont été interrogés par téléphone. Dans cette enquête-test, on a ainsi enquêté 215 établissements et 650 envois appartenant aux secteurs de la chimie, de la métallurgie, des industries agro-alimentaires, du commerce de gros alimentaire, du textile. Les résultats illustrent la diversité des domaines que ces enquêtes permettent d'aborder : génération de trafic, caractérisation des trafics potentiellement accessibles aux modes lourds, répartition modale et caractéristiques sectorielles, paramètres du temps, maîtrise du transport et chaînes organisationnelles, etc.

L'exercice a permis de vérifier la faisabilité d'une telle enquête, y compris en international, d'apprécier la compréhension des questionnaires et d'estimer les taux de réponse. Les procédures de sélection des envois et les conditions de mise en place de quotas pour une représentation suffisante des modes non routiers ont également été testées. Les recommandations portent enfin sur une taille d'échantillon suffisante pour couvrir la diversité sectorielle des situations et permettre les analyses économiques plus approfondies.

Références

1. SES, 2005a. *Tous modes de transport (SitraM).* www.statistiques.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=59).
2. SES, 2005b. *Champ d'application des données.* http://www2.equipement.gouv.fr/statistiques/backoffice/t/sitram/sitram2002/annexes/champ.htm
3. SES, 2005c. *Définitions et concepts.* http://www2.equipement.gouv.fr/statistiques/backoffice/t/sitram/sitram2002/annexes/definitions.htm
4. SES, 2005d. *SITRA-M.* http://www.statistiques.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=153
5. Rizet C., 2001, Renouvellement des enquêtes chargeurs : Réalisation de l'enquête test Nord-Pas-de-Calais, communication au *séminaire Prédit* du 22 avril. http://www.inrets.fr/ur/dest/publications/pub_tml.htm
6. Karsky M, 2001. *Prospective des transports de marchandises en France à l'horizon 2020 le modèle SIMTRANS.* Club innovations transports des collectivités (PREDIT, GART, CERTU). http://www.innovations-transports.fr/article.php3?id_article=68
7. Salini P., SIMTRANS - *Modèle Dynamique des transports Modèle Dynamique des transports terrestres de marchandises*. 32p. http://patrice.salini.free.fr/simpres.pdf

7. BIBLIOGRAPHIE

[1] Australian Transport Council. 2004a. *National Guidelines for Transport System Management in Australia*. 130p. http://www.atcouncil.gov.au/documents/NGTSM.aspx

[2] Australian Transport Council. 2004b. *National Transport Data Framework*. 182p. http://www.atcouncil.gov.au/documents/pubs/NTDF.pdf

[3] AustRoads. 2003. *Forecasting inter-regional freight transport from regional development*. AP-R226. 14p.

[4] Beuthe, M., B. Jourquin. 2001. *Vers une Mobilité Durable : Effets Économiques et spatiaux d'un transport de marchandises en augmentation*. Rapport final du groupe Transport et Mobilité.19p.

[5] BFM - Project History. http://www.mdst.co.uk/MDSTBody-gbfm-history.htm

[6] Bureau of Transportation Statistics (BTS), *Commodity Flow Survey*. http://www.bts.gov/programs/commodity_flow_survey/

[7] Cascetta, E. 2001. *Transportation Systems Engineering: Theory and Methods*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherrlands.

[8] Crainic, T.G. 2003. Long-Haul Freight Transportation. dans *Handbook of Transportation Science*, R.W. Hall (éditeur), 2ième édition. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA., 451-516.

[9] Crainic, T.G., G. Dufour, M. Florian, D. Larin, Z. Leve. 2001. Demand Matrix Adjustment for Multimodal Freight Networks. *Transportation Research Record*, 1771, 140-147.

[10] Crainic, T.G., G. Dufour, M. Florian, D. Larin. 1999. Path Analysis in STAN. *Proceedings 5th International Conference of the Decision Sciences Institute*. C. Zopounidis, D. Despotis (éditeurs), New Technologies Publications, Athènes, Grèce, 2060-2064.

[11] Crainic, T.G., G. Dufour, M. Florian, D. Larin. 2002. Path Recovery/Reconstruction and Applications in Nonlinear Multimodal Multicmmodity Networks, dans *Transportation and Network Analysis: Current Trends – Miscellenea in honor of Michael Florian*. M. Gendreau, P. Marcotte (éditeurs). Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA., 95-108.

[12] Crainic, T.G., M. Florian. 2005. Modèles d'optimisation pour la planification des systèmes de transport, dans *Optimisation combinatoire 3: applications*, V. Th. Paschos (éditeur), Lavoisier-Hermès, France, 117-152.

[13] Crainic, T.G., M. Florian, J. Guélat, H. Spiess. 1990. Planning of Freight Transportation: STAN, An Interactive-Graphic System in Transportation Systems Planning and Applications. *Transportation Research Record*, 1283, 97-124.

[14] Crainic, T.G., M. Florian, M. D. Larin. 1994. STAN: New Developments. *Proceedings of the 23rd Annual Meeting of the Western Decision Sciences Institute.* AL S. Khade, R. Brown (éditeurs), School of Business Administration, California State University, Stanislaus CA, 493-498.

[15] Crainic, T.G., M. Florian, J.-E. Leal. 1990. A Model for the Strategic Planning of National Freight Transportation by Rail. *Transportation Science*, 24(1), 1-24.

[16] Crainic, T.G., K.H. Kim. 2005. Intermodal Transportation, dans *Transportation*, dans la série *Handbooks in Operations Research and Management Science*. C. Barnhart et G. Laporte (éditeurs). Elsevier (à paraître).

[17] Daly, A., P. Sillaparcharn. 2004. *National Traffic Forecasting Models in Europe and Elsewhere.* Workshop on Developing a View of the Future in Transport: What Role for the JTRC?

[18] De Jong, G., W. Walker. 2003. *RAND Europe's Experience with Freight Transport Models*. Conference on National and International Freight Transport Models, Helsingør, Denmark, September 8-9, 2003. 21p.

[19] Erlander, S., S. Nguyen, N. Stewart. 1979. On the Calibration of the Combined Distribution-Assignment Model, *Transportation Research*, 13B, 259-267.

[20] Evans, S.P., H.R. Kirby. 1974. A Three-dimentional Furness Procedure for Calibrating Gravity Models. *Transportation Research*, 8, 105-122.

[21] FAF. www.ops.fhwa.dot.gov/freight/freight_analysis/faf/index.htm

[22] FHWA. 2004. *Freight Analysis Framework: issues and plans.* www.ops.fhwa.dot.gov/freight/freight_analysis/faf/fafplan_sep2004.html

[23] Florian, M., T.G. Crainic (éditeurs). 1989. *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part I Project Summary*, publication #638, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*

[24] Florian, M., T.G. Crainic (éditeurs). 1989. *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part II Methodology: The New Contributions*, publication #639, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*

[25] Florian M., T.G. Crainic (éditeurs). 1989. *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part III The STAN System*, publication #640, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*

[26] Florian, M., T.G. Crainic (éditeurs). 1989. *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part IV Specifying Data for the STAN System: Requirements, Concepts, Sources and Estimation Procedures*, publication #641, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*

[27] Florian M., T.G. Crainic (éditeurs). 1989. *Strategic Planning of Freight Transportation in Brazil: Methodology and Applications; Part V Applications*, publication #642, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, rapport final pour le *International Development Research Center - Canada.*

[28] Florian, M., D. Hearn. 1995. Network Equilibrium Models and Algorithms. M.O. Ball et al. (éditeurs). Network Routing, 8. Handbooks in Operations Research and Management Science, North-Holland, Amsterdam, 485-550.

[29] Fox, J., A. Daly, H. Gunn. 2003. *Review of Rand Europe's Transport Demand Model Systems*. Rand, Santa Monica. 102p.
http://www.rand.org/publications/MR/MR1694/MR1694.pdf

[30] Freight Management and Operations, *Data Sources*
www.ops.fhwa.dot.gov/freight/freight_analysis/data_sources.htm

[31] Freight Model Improvement Program (FMIP). http://www.fmip.gov/

[32] Friesz, T.L., J.A. Gottfried, E.K. Morlok. 1986. A Sequential Shipper-Carrier Network Model for Predicting Freight Flows. *Transportation Science*, 20, 80-91.

[33] Friesz, T.L., P.T. Harker. 1985. Freight Network Equilibrium: A Review of the State of the Art. A.F. Daughety (éditeur). *Analytical Studies in Transport Economics*, Chapter 7. Cambridge University Press, Cambridge.

[34] Friesz, T.L., R.L. Tobin, P.T. Harker. 1983. Predictive Intercity Freight Network Models. *Transportation Research A: Policy and Practice*, 17A, 409-417.

[35] Gédéon, C., M. Florian, T.C. Crainic. 1993. Determining Origin-Destination Matrices and Optimal Multiproduct Flows for Freight Transportation over Multimodal Networks. *Transportation Research,* 27B(5), 351-368.

[36] Geerts, J.F., B. Jourquin. 2000. *Freight transportation planning on the European multimodal network : the case of the Walloon region.* The 6th RSAI World Congress 2000, Lugano, Switzerland, May 16-20 2000. 15p.

[37] Guélat, J., M. Florian, T.G. Crainic. 1990. A Multimode Multiproduct Network Assignment Model for Strategic Planning of Freight Flows. *Transportation Science*, 24(1), 25-39.

[38] Harker, P.T. 1987. *Predicting Intercity Freight Flows*. VNU Science Press, Utrech, The Netherlands.

[39] Harker, P.T. 1988. Issues and Models for Planning and Regulating Freight Transportation Systems. L. Bianco, A.L. Bella (éditeurs). Freight Transport and Logistics, Springer-Verlag, Berlin, 374-408.

[40] Harker, P.T., T.L. Friesz. 1986. Prediction of Intercity Freight Flows I: Theory. *Transportation Research*, 20B (2), 139-153.

[41] Harper, P.T., T.L. Friesz. 1986. Prediction of Intercity Freight Flows II: Mathematical Formulations. *Transportation Research*, 20B (2), 155-174.

[42] Hovi, I.B., A. Vold, V. Jean-Hansen, S. Johansen, A. Madslien. 2004. *Basis data requirements for developing the freight model system in Norway.* TØI, Oslo, November 2004.

[43] Hovi, I.B., A. Vold. 2003. *An overview over the national freight model for Norway.* Conference on National and International Freight Transport Models, Helsingør, Denmark, September 8-9, 2003.

[44] Ivanova, O., A. Vold, V.Jean-Hansen. 2003. *A SCGE approach to forecasting interurban transport flows in Norway.* Conference on National and International Freight Transport Models, Helsingør, Denmark, September 8-9, 2003.

[45] Jones, P.S., G.P. Sharp. 1977. *Multi-mode Intercity Freight Transportation Planning for Underdeveloped Regions*. Proceedings of the 18th Meeting of the Transportation Research Forum. 523-531.

[46] Jourquin, B., M. Beuthe. 2004. *A decade of freight transport modeling with Nodus: Acquired experiences and new challenges.*TRALOG, Molde, Norway, August 25-27 2004. 20p.

[47] Jourquin, B. 1995. *Un outil d'analyse économique des transports de marchandises sur des réseaux multi-modaux et multi-produits. Le réseau virtuel, concept, méthodes et applications*. Thèse de doctorat, FUCAM. 212p.

[48] Karsky, M. 2001. *Prospective des transports de marchandises en France à l'horizon 2020 le modèle SIMTRANS.* Club innovations transports des collectivités (PREDIT, GART, CERTU). http://www.innovations-transports.fr/article.php3?id_article=68

[49] Kleven, O.A. 2003. *The issues to be investigated in the Norwegian national model system(s).* Conference on National and International Freight Transport Models, Helsingør, Denmark, September 8-9, 2003.

[50] Larin, D., T.G. Crainic, G. Simonka, L. James-Lefebvre, G. Dufour, M. Florian. 2002. *STAN User's Manual*, Release 6. INRO Consultants, Inc. Montréal, QC, Canada.

[51] Lauridsen, H. 2000. *Strategic Transport Planning and Evaluation: The Scandinavian Experience.* TRANS-TALK Policy and Project Evaluation, Workshop on Projects, Programs and Policies: Evaluation Needs and Capabilities. Brussels, November 6-8, 2000.

[52] ME&P. 2002. *Review of Freight Modelling; Report B1 – Review of GB Freight Models.* DfT Integrated Transport and Economic Appraisal, June 2002.

[53] ME&P. 2002. *Review of Freight Modelling; Report B4 – Review of Data Sources.* DfT Integrated Transport and Economic Appraisal, May 2002.

[54] ME&P. 2002. *Review of Freight Modelling; Response to Independent Review by John Fearon of Work Area A & B Reports.* DfT Integrated Transport and Economic Appraisal, June 2002.

[55] Office of Freight Management and Operations, USDOT. 2002. *Derivation of the FAF Database and Forecast.* 23p. http://ops.fhwa.dot.gov/freight/documents/WebMeth/

[56] RAND.1996. *Improving Freight Transportation Policy in the Netherlands.* http://www.rand.org/publications/RB/RB6500/

[57] RAND Europe. 2002. *Review of Freight Modeling. Report B2- Review of Models in Continental Europe and Elsewhere.* 78p.

[58] Ravlum, I-A., H. Lauridsen. 2001. *National Transport Planning in Norway and Sweden – A comparison.* Institute of Transport Economics. Report of 59 pages in Norwegian, summary of 5 pages in English, Oslo, 2001.

[59] Rizet, C. 2001. Renouvellement des enquêtes chargeurs : Réalisation de l'enquête test Nord-Pas-de-Calais, communication au *séminaire Prédit* du 22 avril. http://www.inrets.fr/ur/dest/publications/pub_tml.htm

[60] Salini, P. SIMTRANS - *Modèle Dynamique des transports Modèle Dynamique des transports terrestres de marchandises.* 32p. http://patrice.salini.free fr/simpres.pdf

[61] SES, 2005a. *Tous modes de transport (SitraM).* www.statistiques.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=59)

[62] SES, 2005b. *Champ d'application des données.* http://www2.equipement.gouv.fr/statistiques/backoffice/t/sitram/sitram2002/annexes/champ.htm

[63] SES, 2005c. *Définitions et concepts.* http://www2.equipement.gouv.fr/statistiques/backoffice/t/sitram/sitram2002/annexes/definitions.htm

[64] SES, 2005d. *SITRA-M.* http://www.statistiques.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=153

[65] Sharp, G.P. 1979. A Multi-commodity, Intermodal Transportation Model. *Proceedings of the 20th Meeting of the Transportation Research Forum.* 399-407.

[66] SIKA 2004. *The Swedish National Freight Model a critical review and an outline of the way ahead.* SAMPLAN 2004:1.

[67] SIKA 2003. *Commodity Flow Survey 2001.* SIKA Report 2003:4.

[68] SIKA 2001. *The Swedish Model System for Goods Transport – SAMGODS a brief introductory overview.* SAMPLAN Rapport 2001:1.

[69] Simonka G., T.G. Crainic, D. Larin, G. Dufour, M. Florian. 2002. *Getting Started with STAN : A Beginner's Guide.* INRO Consultants, Inc. Montréal, QC, Canada.

[70] STRATEC, *Études avec enquête « préférences déclarées ».* www.stratec.be

[71] Synthesis-report of the project LAMBIT (Location Analysis for Belgian Intermodal Terminals). www.belspo.be/belspo/home/publ/rappmobil_fr.stm

[72] Tavasszy, L.A., B. Groothedde, C. Ruijgrok. 2000. *Aggregate models of spatial logistics.* Les Troisièmes Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique. Trois-Rivières, Québec, Canada, 9-11 mai, 2000. 20p.

[73] Tavasszy, L.A., M.J.M. Van der Vlist, C.J. Ruijgrok, J. Van der Rest.1998. *Scenario-wise analysis of transport and logistics systems with a SMILE.* The 8th WCTR conference, Antwerp, Belgium. 16p.http://www.sika-institute.se/utgivning/upph020521_13.pdf

[74] U.S. Census Bureau (CFS 2002), *Commodity Flow Survey* 2002. http://www.census.gov/svsd/www/cfsdat/2002cfs.html

[75] Watson, L., M. Greig. 2002. *Experience with measuring freight movements in Australia.* 25th Australasian Transport Research Forum, Canberra, 2-4 October, 2002. 19p.

[76] Winston, C. 1983. The Demand for Freight Transportation: Models and Applications. *Transportation Research,* 17A, 419-427.

[77] WSP, 2002. Review of Freight Modelling; Initial Projects. DfT Integrated Transport and Economic Appraisal, November 2002.